

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMEN
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de
l'Univers
Département de Biologie
Laboratoire Lamaabe



MÉMOIRE

Présenté par

BOUANANI Ikram & BERRICHI Nadia

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Microbiologie et contrôle de qualité

Thème

Les champignons dégradants le plastique à partir des plages polluées

Soutenu le 04/07/2021, devant le jury composé de :

Président	Melle Bouali Waffa	MCA	Université de Tlemcen
Encadrant	Mme Brahimi Kholkhal Wahiba	MCB	Université de Tlemcen
Examineur	Mme Bensalah Fatéma	MCB	Université de Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

ملخص:

لسوء الحظ ، نظرًا للحالة الصحية التي يعيشها بلدنا والعالم بأسره ، حتى نكمل دراستنا ، قمنا بتحليل مقالتين، وهي واحدة من التحلل الحيوي للنايلون (Sigma Aldrich) بواسطة فطر *Trametes versicolor* NCIM 1086، و ثانيًا ، التحلل البيولوجي للبوليمر بواسطة عدة أنواع من الفطريات. توضح المقالة الأولى أنه تم تحلل صفائح النايلون 6 لمدة 15 و 30 و 45 و 60 و 75 و 90 يومًا عن طريق قياس سماكة الصاج وخفض الوزن. تظهر نتائج المقال الثاني أن هناك عدة طرق يمكن استخدامها لتقدير تلف البوليمرات. الطيفية والميكروسكوبية، وغالبًا ما يتم دمجها مع بعضها البعض ولتحسس البوليمرات ، توجد عدة وسائل ، أحدها يسمى "الوسائل المستقرة والآخر هو تعريضها (للشيخوخة اللاأحيائية) عمل العوامل اللاأحيائية متنوعة بفعل الميكروبات.

الكلمات المفتاحية: إدارة النفايات الباليستيكية, تحلل حيوي, 6, نايلون, LDPE/Bionolle, *Trametes Versicolor*,

Résumé :

Malheureusement, vu l'état sanitaire qu'a connu notre pays et le monde entier, ainsi pour compléter notre études, nous avons analyse deux articles, qui est entamer l'un de la biodégradation de nylon 6 (Sigma Aldrich) par le champignon *Trametes versicolor* NCIM 1086, et le deuxième la biodégradation d'un polymère par plusieurs espèces fongiques.

Le premier article montre que la dégradation des feuilles de nylon 6 a été réalisée pendant 15, 30, 45, 60, 75 et 90 jours en mesurant l'épaisseur des feuilles et la réduction du poids.

Les résultats le deuxième article montre qu'il ya Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour estimer la détérioration des polymères. Spectroscopiques et microscopiques, le plus souvent en combinaison les unes avec les autres et pour sensibiliser les polymères il y'a plusieurs moyen, l'un de ces moyens dits "stables et l'autre est de l'exposer au vieillissement abiotique (action des facteurs abiotiques) suivi de l'action des microbes.

Mots clés : *Trametes versicolor*, biodégradation, Nylon 6, gestion des déchets plastiques, LDPE/Bionolle

Abstract:

Unfortunately, given the sanitary state that our country and the world has known, so to complete our studies, we have analyzed two articles, which is enter one of the biodegradation of nylon 6 (Sigma Aldrich) by the fungus *Trametes versicolor* NCIM 1086, and the second the biodegradation of a polymer by several fungal species.

The first paper shows that the degradation of nylon 6 sheets was carried out for 15, 30, 45, 60, 75 and 90 days by measuring the thickness of the sheets and the weight reduction.

The results the second article shows that there are Several methods can be used to estimate the deterioration of polymers. Spectroscopic and microscopic, most often in combination with each other and to sensitize the polymers there are several ways, one of these means called "stable and the other is to expose it to abiotic aging (action of abiotic factors) followed by the action of microbes.

Mots clés : *Trametes versicolor*, Biodegradation, Nylon 6, Plastic waste management, LDPE/Bionolle.



DEDICACES

Bouanani Ikram

Je dédie ce modeste travail :

A mon Père Abd Alhamid, A ma Chère Mère Zohra :

Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour.

*Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne
Santé et longue vie inchaallah.*

A celui que j'aime beaucoup qui m'a soutenue

Tout au long de ce travail :

Mon frère Abd Allah Yacine, et a toute ma famille

Mes tentes, mes oncles....

Mes amis surtout mon amie et ma sœur Manel.

Et sans oublié ma grand-mère qui ne lésine pas sur moi

Avec Ses prière qui m'accompagne toujours, je demande à

Dieu de te guérir et de te protéger pour nous.

A mon binôme Berrichi Nadia et tous mes collègues de promo.

Berrichi Nadia

Je dédie ce modeste travail :

A mon mari Toufik. A mes enfants Yacine, Abd Elmalek

Et Massilia et mes parents. A mes frères et mes sœurs.

A mon binôme Bouanani Ikram et tous mes collègues de promo.



REMERCIEMENTS

*Nous remercions Dieu le tout puissant
De nous avoir aidé et donné le courage et la volonté
Pour achever ce modeste travail.*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche
Et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de
Mme Brahimî Kholkhal Wahîba
On le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel,
Pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant
Notre préparation de ce mémoire.*

*Nous remercions également Melle Bouali Waffa
Pour avoir acceptée de présider le jury de soutenance,
Mme Bensalah Fatéma pour avoir acceptée
D'examiner ce travail.*

*Notre remerciement s'adresse également à tous
Nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience
Dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges
Académiques et professionnelles.*

Sommaire

Liste des abréviations

Listes des figures et des tableaux

Introduction

2

Chapitre I

1. Présentation du règne fongique 5
2. Classification des champignons 5
3. Organisation cellulaire 8
 - 3.1 Morphologie 8
 - 3.2 Cytologie des champignons 8
4. La Croissance des champignons 9
 - 4.1 Formation de la colonie fongique 9
 - 4.2 Stades du développement fongique 9
5. Nutrition des champignons 10
6. Reproduction des champignons 11
 - 6.1 Multiplication asexuée 11
 - 6.2 Reproduction sexuée 11

Chapitre II

1. Le plastique 14
 - 1.1 Définition de « matière plastique » 14
 - 1.2 Matériaux précurseurs 15
 - 1.3 Les différents types de matières plastiques 15
 - 1.3.1 Les thermoplastiques 15
 - 1.3.2 Les thermodurcissables 17
 - 1.3.3 Les élastomères 18
 - 1.4 Le plastique biodégradable 18
2. La pollution par le plastique 19
 - 2.1 La pollution de plastique dans les océans 20
 - 2.2 La pollution de plastique en Algérie 21
 - 2.3 Valorisation des déchets de plastiques 22

Liste des abréviations :

3RV-E : Réduction, réemploi, recyclage, valorisation et élimination.

AND : Agence nationale des déchets.

CH3 : Méthyle

CHO : Carbaldéhyde

CONH2 : Carboxamide.

COOH : Acide Carboxyle.

DSM : Des déchets solides municipaux.

EDX : Energy dispersive X-Ray analysis

ESEM : Environmental Scanning Electron Microscopy

FE-SEM : Field Emission Scanning Electron Microscopes.

FTIR : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

LDPE : Low Density Polyethylene.

LVSEM : Low Voltage Scanning Electron Microscopy.

MBS : Microscopie A Sonde A Balayage

MEB : Microscopie électronique à balayage.

MRF : Des installations de récupération des matériaux.

MET : Microscopie Electronique A Transmission.

NH : Imine

P (3HB-co-3HV)/PS : Poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate)/ Polyéthylène.

PE : Polyéthylène.

PEBD : Polyéthylène Basse Densité.

PET : Polyéthylène téréphtalate.

PHA : Polyhydroxyalcanoate.

PHB : Polyhydroxybutyrate.

PLA : Acide polylactique ou polylactide.

PS : Polystyrène

TPS : Thermoplastic starch (amidonthermoplastique).

UHR : Ultra-Haute Résolution.

STEM : Scanning transmission electron microscope

SEM : Scanning electron microscope.

Liste des Figures et des Tableaux :

Fig.1 : La phylogénie globale actuelle	6
Fig.2 : La phylogénie des Eumycètes	7
Fig.3 : Les différentes structures des hyphes fongiques	8
Fig.4 : Schématisation de la reproduction sexuée et asexuée chez les mycètes	12
Fig.5 : Les déchets de plastique sur une plage de Béjaia	22
Fig.6: Image de la diversité des champignons marins. A, collection des champignons marins isolés (USA). B, <i>Arenariomyces trifucatus</i> ; C, des algues infectées par des champignons ; D, <i>Halottia posidoniae</i>	29
Tableau.1 : Diminution du poids du Nylon 6 par traitement avec les champignons <i>Trametes versicolor</i> NCIM 1086 (Chonde et <i>al.</i>, 2012	36
Tableau.2 : Diminution de l'épaisseur du Nylon 6 par traitement avec les champignons <i>Trametes versicolor</i> NCIM (Chonde et <i>al.</i>, 2012	37
Tableau 3. Perte de poids des films après biodégradation (Nowak et <i>al.</i>, 2012)	40

INTRODUCTION

Introduction

Les océans contiennent aujourd'hui plus de 150 millions de tonnes de déchets plastiques. Et les prévisions tablent sur des stocks de 250 millions de tonnes en 2025. Selon le rapport *Stemming the Tide*, publié en 2015 par Océan Conservancy, il pourrait ainsi y avoir en 2025 une tonne de plastique pour trois tonnes de poissons dans les océans et même autant de plastique que de poissons (en poids) d'ici à 2050, selon les projections de la Fondation Ellen Macarthur, tablent sur une croissance du flux annuel de déchets plastiques similaire à celui des emballages plastiques. Même si des efforts concertés étaient déployés en vue de réduire le flux de plastiques dans les océans, le volume des déchets arrivant dans les océans se stabiliserait, sans diminuer, ce qui conduirait à une augmentation continue du volume de plastiques dans les océans. Les plastiques que l'on retrouve dans les océans ont un impact important sur le patrimoine maritime naturel (Kanaka, 2019).

Le gouvernement lutte depuis quelques années contre la pollution plastique en mer, en particulier avec l'adoption en 2018 de l'objectif « zéro plastique en mer en 2025 » et d'une feuille de route pour y parvenir par le Comité interministériel de la mer en 2019 (ADEME et al., 2020).

Seuls les plastiques biodégradables sont susceptibles d'être détruits par les champignons. Or, on évalue à 1% la proportion des matières plastiques biodégradables. Fort de cela, le fameux champignon va accélérer la dégradation de 1% de ces déchets, chacun peut tirer sa conclusion sur son impact sur la protection de l'environnement (Julien, 2017).

L'étude des champignons marins revêt depuis de longues années un intérêt capital pour la communauté scientifique où l'on note plusieurs travaux réalisés et dans diverses régions du monde et sur divers substrats. Beaucoup de micromycètes marins vivent sur des algues et le bois. Il trouve également des espèces fongiques sur des plantes marines. D'autres sont isolées à partir du sable, des coraux, des coquilles de mollusques et d'animaux marins. Néanmoins, leur mode de vie et surtout leur éventuelle production toxique n'ont encore été que peu étudiés. La microbiologie marine suscite d'ailleurs un intérêt nouveau depuis quelques années (Chibuisi et Caterina, 2019).

Le champignon fonctionne en milieu anaérobie, c'est un fait. Ce n'est donc pas un choix que nous avons fait, mais c'est surtout une chance pour nous, car il serait sûrement possible un jour de l'utiliser dans des déchetteries à ciel ouvert, mais aussi dans des sites d'enfouissements des déchets, espérons que nous découvrirons un champignon capable de fonctionner dans l'eau (Mondialisation, 2019).

L'association Fungi Life espère bien pour les recherches sur le champignon *Pestalotiopsis Microspora* qui est capable de dégrader le polyuréthane en quelques semaines seulement en

Introduction

l'utilisant comme source principale de carbone pour sa croissance se développe également en milieu anaérobie (sans oxygène), ses utilisations potentielles sont donc multiples et peuvent aider dans une lutte d'urgence contre les dégâts de l'activité humaine (Mondialisation, 2019).

Les champignons marins sont très efficaces pour protéger l'environnement marin contre les déchets toxiques, y compris le plastique pollué. Par conséquent, on se pose la question suivante : les champignons dégradent-ils le plastique des plages pollués ?

L'objectif de notre étude (travail) était **les champignons dégradants le plastique à partir des plages polluées.**

Malheureusement ce travail n'a pas été achevé jusqu'au bout vu la pandémie qu'a connu le monde. Pour cela et dans le même contexte, ont été analysés deux articles afin de compléter ce travail. Le premier consiste à étudier la biodégradation de films de polyéthylène modifié pré-vieilli. Le deuxième article parle des études sur la dégradation du polymère synthétique Nylon 6 par le champignon *Trametes versicolor* NCIM 1086.

En plus du résumé et de l'introduction, l'étude est organisée de la manière suivante :

- Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique résumant les rappels sur les peuplements fongiques.
- Le deuxième chapitre est consacré sur une visite générale sur le monde de plastique et ça pollution marine avec un petit aperçu de la bioremediation et la mycoremediation.
- Le troisième chapitre est consacré à l'étude de milieu marin et les champignons marins responsables de la pollution de l'écosystème marin.
- le quatrième chapitre présente une discussion de deux articles concernant la biodégradation des plastiques par les champignons.

CHAPITRE I :
Les Champignons

1. Présentation du règne fongique :

Les champignons, appelés Mycètes ou Fungi, constituent un groupe hétérogène. Tous sont dépourvus de chlorophylle, ce qui les condamne à une hétérotrophie totale vis-à-vis du carbone (Bouchet et *al.*, 2005).

Leur mode de vie est saprophytique, parasitaire ou symbiotiques. Un groupe des champignons opportunistes, contient des espèces généralement saprophytes, mais qui deviennent pathogènes à la faveur de circonstances favorisantes. Quelques 1,5 million de champignon poussent à la surface du globe et nous connaissons que 5 à 10% de cette somme. Leur nombre est évalué à ce jour à environ 100.000 espèces, mais il est probablement plus élevé (Rubatzky et *al.*, 1997 , Guy, 2015 , ESIAB, 2021).

La majorité des champignons vivent en saprophytes dans le sol, sur des plantes mortes ou vivantes, mais uniquement à leur surface et sans leur causer de lésions. Beaucoup d'espèces sont des parasites de plantes qui cause un problème économique. Quelques centaines, sont opportunistes et peuvent devenir pathogènes pour l'homme et les animaux. Enfin, diverses espèces sont symbiotiques, soit associées à des algues dans les lichens, soit associées à des racines constituant les mycorhizes (Yuka et Hirokazu, 2014).

L'organisation cellulaire de base des champignons est le thalle qui constitue l'appareil végétatif. Celui-ci se caractérise par une grande variété de structures, qui vont d'une forme unicellulaire (levure) le plus souvent, une forme filamenteuse, pouvant présenter un degré considérable de différenciation. L'ensemble des filaments est appelé mycélium. Il n'existe jamais de véritables tissus comme chez les plantes supérieures ou chez les animaux. Ils se reproduisent selon un mode asexué et/ou sexué par l'intermédiaire des spores (Yuka et Hirokazu, 2014 ; Guy, 2015).

Les champignons sont utilisés en vie courante de la même manière que de nombreuses plantes : en alimentation, en thérapie et en cosmétique. Ils sont aussi une source de revenus substantiels pour les peuples autochtones dans de nombreuses régions du monde (Moerman, 2008).

2. Classification des champignons :

Les différenciations des séquences génétiques des espèces du monde vivant ont permis d'établir un arbre phylogénétique dans lequel les champignons prennent une place bien individualisée. Ils sont nettement séparés des divers groupes de plantes. Ils sont aussi éloignés des *Oomycètes* ou champignons-algues qui sont des organismes à appareil végétatif peu développé, essentiellement aquatiques, parasites des végétaux (mildious, rouilles blanches, etc.) ou des animaux (poissons, nématodes, etc.). Les *Chytridiomycètes* sont considérés comme des champignons sur la base d'homologies de séquences.

D'un point de vue phylogénétique les champignons sont classés parmi les *Opisthokontes* : groupe qu'ils partagent avec les animaux (Fig.1).

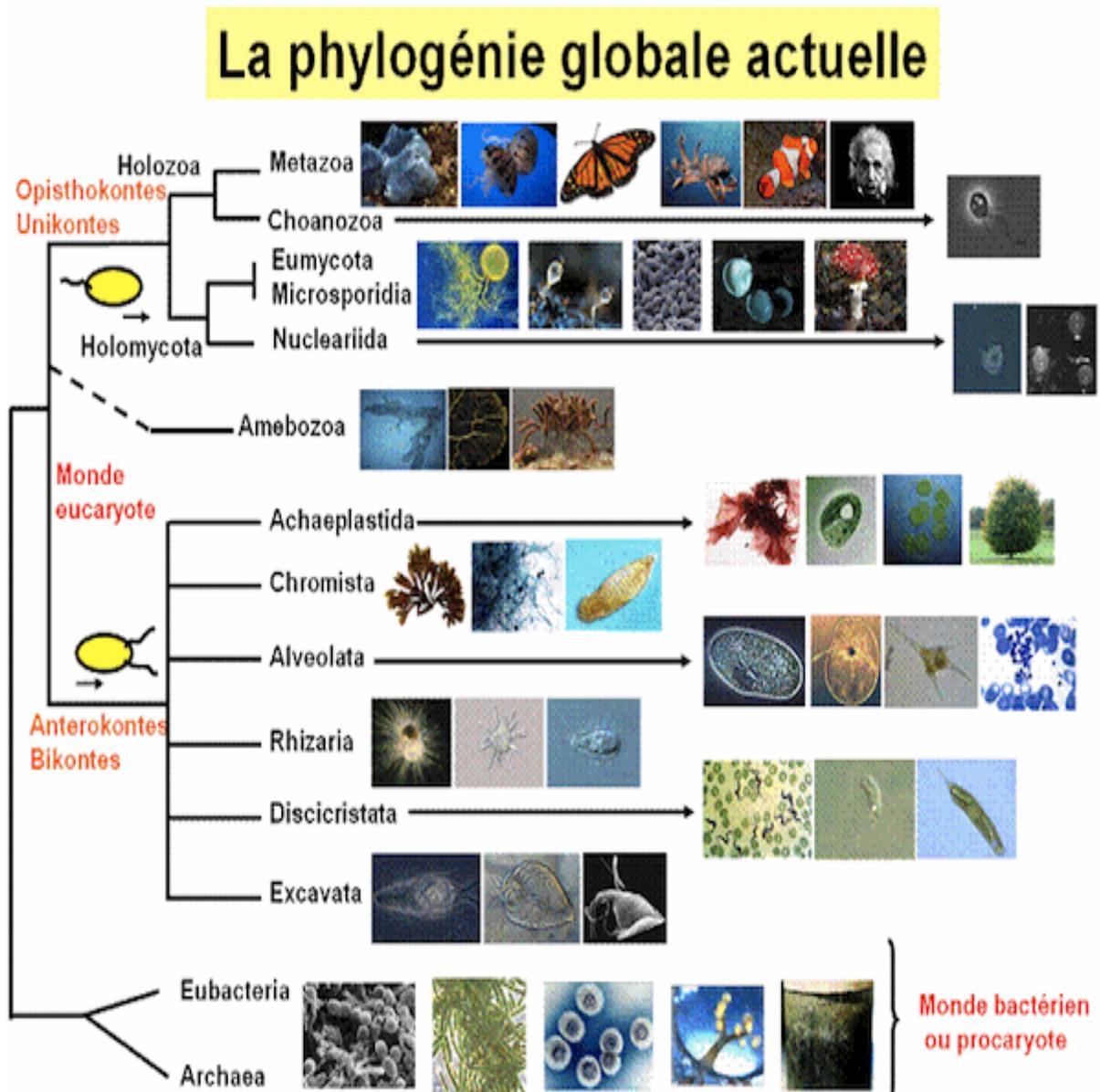


Figure 1. La phylogénie globale actuelle (ESIAB, 2021).

La classification actuelle des Eumycètes (règne des champignons vrais) distingue dix divisions (ou embranchements) (Fig.2).

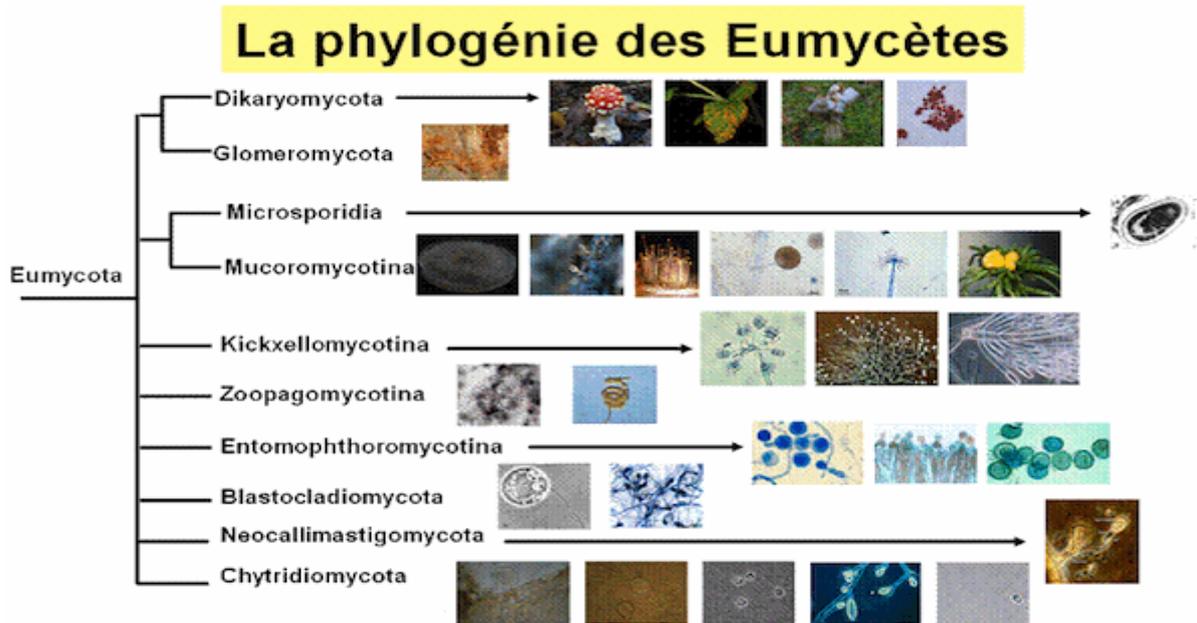


Figure 2. La phylogénie des Eumycètes (ESIAB, 2021).

2.1. Les Mucoromycotina :

Les mucormycètes représente la majorité des espèces anciennement classées parmi les Zygomycètes, et contient plus particulièrement celles appartenant aux mucorales, aux endogonales et aux mortierellales (ESIAB 2021).

Cela représente plusieurs centaines d'espèces qui sont pour la plupart saprophytes et d'autres symbiotiques (ESIAB 2021).

2.2. Les Microsporidia:

Le groupe des microsporidies compte environ 1100 espèces. Ce sont des parasites intracellulaires de structure simple qui infectent de très nombreux eucaryotes avec une préférence pour les invertébrés. Les analyses de phylogénie moléculaire montrent qu'ils sont proches de certains Mucormycotina ; les microsporidies seraient donc des champignons zygomycètes intracellulaires qui auraient régressé (ESIAB 2021).

2.3. Les Glomeromycota:

Cet embranchement comprend deux ordres, les glomales et les geosiphonales. Il inclut essentiellement des espèces qui vivent en association obligatoire avec des plantes ainsi qu'une espèce vivant en association avec des cyanobactéries (*Geosiphon pyriformis*)(ESIAB 2021).

2.4. Les Ascomycota:

Les ascomycètes forment le groupe d'eumycète qui contient le plus grand nombre d'espèces (environ les deux tiers des espèces de champignons décrites). Leurs méiospores sont produites à l'intérieur d'un sac ou asque d'où leur nom d'ascospores (Sylvie et Françoise, 2006).

2.5. Les Basidiomycota:

Les basidiomycètes regroupent environ un tiers des espèces de champignons supérieurs. Ils sont caractérisés par le fait que les méiospores sont externes : on les appelle basidiospores. (Sylvie et Françoise, 2006).

3. Organisation cellulaire :

3.1. Morphologie :

Ils sont constitués de cellules indépendantes uniques (unicellulaire) ou un ensemble de cellule (multicellulaires). La structure fondamentale d'un mycète multicellulaire est l'hyphe, habituellement subdivisé par des cloisons (septum). Il peut être non cloisonné est donc il est coenocytique ou siphonné (Fig.3), bien qu'il soit une cellule allongée simple, il contient toutefois plusieurs noyaux et fonctionne plutôt comme une structure multicellulaire (David, 2013).

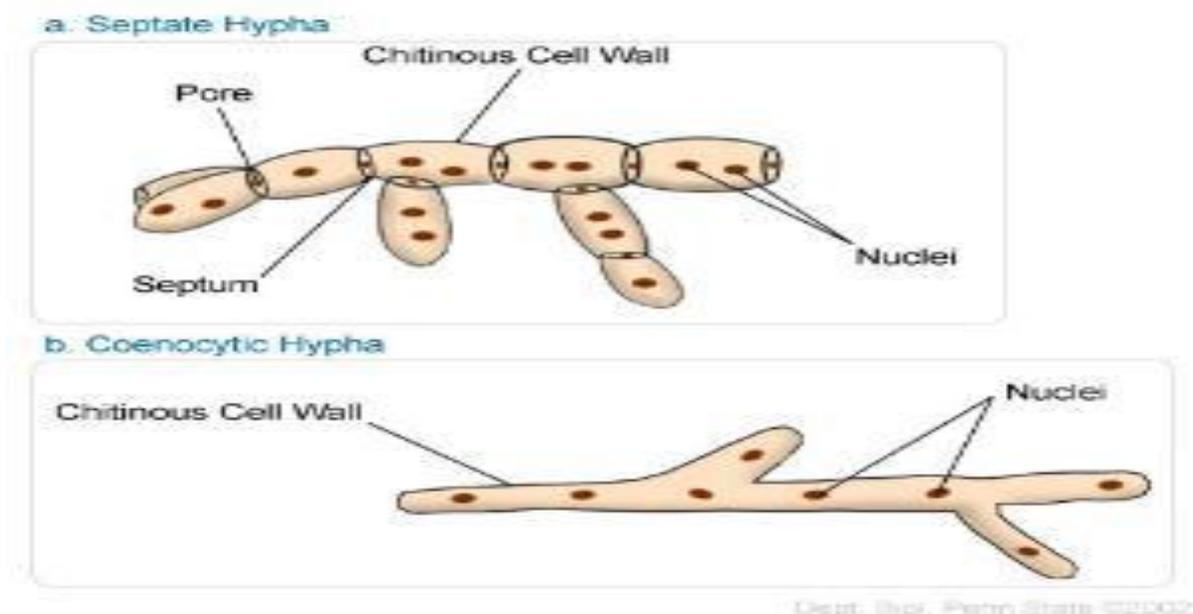


Figure 3. Les différentes structures des hyphes fongiques (Tortora *et al.*, 2003)

3.2. Cytologie des champignons :

Les champignons sont des organismes eucaryotes, c'est-à-dire possédant des noyaux individualisés pourvus d'une membrane nucléaire, de chromosomes et d'un nucléole, et un appareil

mitochondrial. L'existence simultanée d'une paroi cellulaire périphérique et de vacuoles turgescentes dans le cytoplasme, les rapproche des végétaux. Ils possèdent une paroi peptidopolyosidique épaisse, de composition variable et une membrane riche en stérols (ergostérol) (Rubatzky et *al.*, 1997).

4. La Croissance des champignons :

La croissance fongique est très lente dans la nature. Ceci est dû au faible fourniture en substrats et à l'hétérogénéité de la distribution des nutriments dans les habitats microbiens. Elle peut être également ralentie par certaines perturbations telles que les interactions antagonistes d'autres espèces, les invasions des animaux, les stress provoqués par l'épuisement des nutriments, les changements des conditions physiques et par l'inhibition causée par un métabolite toxique (mycotoxines, acides organiques ...) produit par un micro-organisme voisin (Brock et *al.*, 1994).

4.1. Formation de la colonie fongique :

La croissance des champignons filamenteux dans les milieux gélosés avec des conditions d'incubation favorables est rapide. Le développement radial de la colonie provoque une différenciation des structures mycéliennes qui évoluent du centre jusqu'à la périphérie de la colonie. Pour une colonie donnée, différentes zones de différenciation sont formées (Carlille et Watkinson, 1994).

4.2. Stades du développement fongique :

Lors du développement des moisissures trois phases interviennent : la germination, la croissance et la sporulation. Les conidies sont produites par une structure spécialisée, le conidiophore. Après dispersion et contact avec un milieu adéquat, les conidies germent et donnent naissance à un hyphes. Le développement de cette structure forme un mycélium ramifié dont émerge un hyphes aérien porteur de conidiophores (Osherov et *al.*, 2001)

4.3.1. La germination :

Cette étape comporte deux phases. Dans un premier temps, la spore enfle (elle s'hydrate), son diamètre et sa biomasse augmentent. Lors de cette croissance sphérique, de nouvelles couches sont formées et recouvrent uniformément la surface intérieure de la spore. Les propriétés de surfaces sont modifiées, l'adhérence spore-spore et spore substrat augmente. L'apparition d'un hyphes à partir de la spore hydratée correspond à la seconde phase de la germination (Osherov et May, 2001)

4.3.3. La croissance :

L'hyphes ayant émergé de la spore, après quelques heures, croît de manière exponentielle jusqu'à atteindre une vitesse d'élongation maximum de l'ordre du mm/h pour ensuite s'allonger à

vitesse linéaire. A l'arrière de l'apex, des ramifications se forment, s'allongent et se divisent à leur tour, constituant un enchevêtrement d'hyphes appelé mycélium (Carlille et Watkinson, 2000).

4.3.3. Sporulation et dissémination :

Ultime phase du développement fongique, la sporulation consiste à la formation de particules de taille comprise essentiellement entre 3 et 30 μm , enveloppées d'une paroi épaisse avant séparation (chlamydospores), enfermées dans des "sacs" à l'extrémité de l'hyphe (sporangiospores), produites sur les extrémités ou les côtés de l'hyphe (conidiospores), ou générées par bourgeonnement d'une cellule mère végétative (blastospores). Les conidies sont disséminées par des mécanismes actifs ou passifs. Dans des conditions optimales de croissance, une spore unique de moisissures peut germer et produire une colonie fongique avec des centaines de milliers de spores en quelques jours. L'émission des spores n'est pas un phénomène continu mais dépend des conditions environnementales et du stade de croissance du microorganisme (Carlille et Watkinson, 2000).

5. Nutrition des champignons :

La nutrition des mycètes est variée, mais peut être divisée en deux composantes : le carbone (énergie) et les minéraux. La métabolisation du carbone n'est pas tellement différente de celle des animaux et comprend l'oxydation d'hexoses, tels que le glucose. Cela se produit le plus souvent de façon aérobie par le processus normal de la respiration, mais peut aussi se faire de façon anaérobie (fermentation) (Malloch, 2013).

La nutrition minérale est similaire à celle des plantes, dans laquelle tous les minéraux nécessaires (azote, phosphore, soufre, fer....) peuvent être assimilés en formes inorganiques simples. D'un autre côté, la plupart des mycètes peuvent assimiler des minéraux assemblés en molécules organiques (Malloch, 2013)

Parmi les caractéristiques des mycètes est leur aptitude à digérer des sources complexes d'éléments nutritifs à l'extérieur de leurs cellules et d'en absorber ensuite les produits. Ce processus est réalisé par des enzymes extracellulaires spécialisées pour la digestion d'une ou de quelques substances spécifiques. Ces enzymes sont spécialisés pour la dégradation de cellulose, féculé, la pectine, le bois, les poils, la peau et de nombreuses autres substances. Chaque type de mycète produit un ensemble particulier de ces enzymes mais aucun ne les produit toutes (Malloch, 2013).

Plusieurs mycètes sont saprophytes, mais un grand nombre sont parasites et obtiennent leurs éléments nutritifs d'autres organismes vivants (Malloch, 2013).

6. Reproduction des champignons :

6.1. Multiplication asexuée :

Il existe deux modes de formation des spores asexuées :

a) Le mode endogène, où les spores (endospores) sont formées et contenues à l'intérieur d'une enveloppe (sporange) portée par un filament mycélien (les *Zygomycètes*, et les *Entomophthorales*) (Bart et Timothy, 2016).

b) Le mode exogène, où les spores (spores externes ou conidies) sont formées et émises successivement à l'extérieur du mycélium qui leur a donné naissance (les *Ascomycètes* et les *Basidiomycètes*) (Bart et Timothy, 2016).

6.2. Reproduction sexuée :

La reproduction sexuée se déroule en trois étapes. La plasmogamie, la caryogamie et enfin la troisième étape est une division réductrice ou méiose.

Chez les *Ascomycètes* et les *Basidiomycètes*, Le mycélium primaire s'allonge, se ramifie et rencontre de sa croissance un autre mycélium primaire de polarité opposée dont ils s'unissent et forment donc un mycélium secondaire. Seul le contenu des cellules des deux mycéliums fusionne, leurs noyaux restant séparés, c'est pour ça on parle de cellules à dicaryon (Guy, 2015).

Le mycélium secondaire se développe et se ramifie à son tour, et atteint parfois des dimensions considérables. Lorsque les conditions sont favorables, certaines extrémités de ce mycélium s'enroulent sur elles même et forment de petites pilotes qui sont autant de minuscules champignons (basides ou asques). Alors, c'est à ce niveau que les noyaux vont fusionner qui ont continué de coexister au sein de chaque cellule. Les basides ou les asques formeront de nouvelles spores, bouclant ainsi le cycle de reproduction du champignon (Guy, 2015).

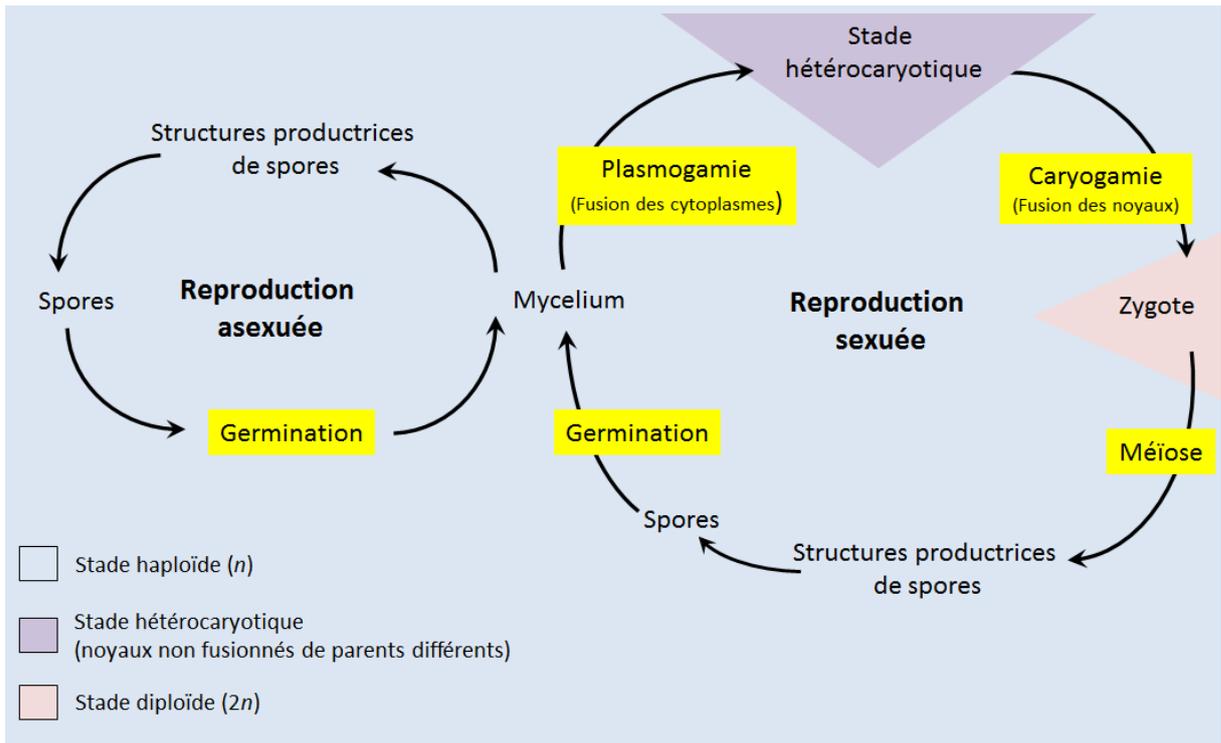


Figure 4. Schématisation de la reproduction sexuée et asexuée chez les mycètes (Carlile et Watkinson, 1994).

CHAPITRE II : Bioremédiation

1. Le plastique :

Les matières plastiques présentent plusieurs avantages comparativement à d'autres matériaux, notamment leur faible coût d'élaboration, leur polyvalence et leur durabilité. Elles donnent lieu à un vaste éventail de polymères ayant des propriétés et des applications particulières et diversifiées, comparativement à d'autres matériaux (Tolinsky, 2010).

Les matières plastiques dérivées de ressources non renouvelables, tels le pétrol et le gaz naturel, forment la majeure partie des matières plastiques produites. Mais avant leur développement, les premiers plastiques prenaient leur origine dans le monde végétal et animal (Turenc, 2012).

Presque tous les aspects de la vie quotidienne concernent les matières plastiques, dans les transports, les télécommunications, les vêtements, les chaussures et en tant que matériaux d'emballage qui facilitent le transport d'une large gamme d'aliments, de boissons et d'autres marchandises. Il existe un potentiel considérable pour de nouvelles applications des plastiques qui apporteront des avantages à l'avenir, par exemple en tant que nouvelles applications médicales, dans la production d'énergie renouvelable et en réduisant l'énergie utilisée dans les transports (Andrady et Neal, 2009).

1.1. Définition de « matière plastique » :

Le terme « matière de plastique » se définit comme suivante : « matière synthétique, constituée de macromolécules obtenues par polymérisation ou polycondensation, qui peut être moulée ou modelée ». Plusieurs notions sont sous-jacentes à cette définition : matière synthétique, macromolécule, polymérisation et polycondensation (Rey, 2007).

La définition du terme « plastique » ramène prioritairement à la notion de mise en forme : « qui a le pouvoir de donner la forme ». Donc le terme « plastique » provient du latin *plasticus*, « relatif au modelage », emprunté du terme grec *plastikos*, « malléable, qui sert à modeler » (Rey, 1992).

Le terme « plastique » a d'abord été employé en tant qu'adjectif : « qui vise la reproduction ou la création de formes par modelage », se rapprochant de l'expression art plastique. Ainsi, ce terme semble avoir été depuis toujours associé à la mise en forme. Il est à noter qu'il est utilisé comme nom commun, constitue une ellipse de « matière plastique ». Ces deux termes sont donc équivalents (CCSP, 2009).

Dans la littérature scientifique, plus spécifiquement dans le domaine de la chimie, plusieurs définitions sont proposées. Des définitions partielles, car très larges et incomplètes, sont données : « n'importe quelle matière qui peut être chauffée ou moulée et qui conserve sa forme une fois

refroidie est un plastique » ou « matière intrinsèquement sans forme pouvant être moulée ou modelée sous la chaleur et/ou la pression » (Koch, 2013).

Les matières plastiques présentent plusieurs avantages par rapport à d'autres matériaux. leurs principaux atouts : faible densité, peu altérables face à l'humidité, à la corrosion, aux agents chimiques, aux bactéries et aux champignons, peu coûteuses à produire, imperméables à l'eau, aux gaz et aux solvants, grande résistance mécanique, isolants électriques, thermiques ou acoustiques, non-altération de la qualité des aliments, aseptiques, étirables pour certaines, translucides ou transparentes pour certaines, faciles d'entretien, faciles de coloration et recyclables pour certaines (Andrady et Neal, 2009).

1.2. Matériaux précurseurs

Les matériaux précurseurs aux matières plastiques ont des origines très diverses, puisant à la fois dans les règnes végétal et animal. Le caoutchouc et la gutta-percha proviennent de latex de plantes ligneuses (Kumar et Nijasure, 1997 ; Ophardt, 2003).

Tandis que la corne, l'écaille et la gomme-laque (shellac) proviennent du règne animal et enfin le bois durci comporte à la fois des matières issues du règne végétal et animal (Katz, 1985).

Ainsi, tous ces matériaux sont peuvent être qualifiés de biosourcés (PHS, 2011).

1.3. Les différents types de matières plastiques:

L'usage prévaut de réserver le terme de matière plastique à trois grandes familles de matériaux, les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères, dont la structure, les propriétés physico-chimiques et la mise en œuvre (comportement sous l'action de la chaleur et la pression) diffèrent totalement (PHS, 2010).

1.3.1. Les thermoplastiques :

1.3.1.1. Le polyéthylène (PE) :

Le polyéthylène est un excellent isolant électrique, ayant une très bonne résistance chimique, grâce à sa structure chimique simple. Il prime sur la plupart des autres matériaux car il peut être réutilisé (Boudet, 2003). Selon le procédé de polymérisation on obtient :

✚ Le polyéthylène à basse densité (PEBD) :

C'est un polymère dont la densité est inférieure à celle de l'eau. Il sert à la fabrication de films d'emballage étirables, film pour l'agriculture et le bâtiment, sac poubelles, sachets, barquettes (Boudet, 2003).

✚ Le polyéthylène à haute densité (PEHD) :

Il est employé dans des applications à parois épaisses rigides telles que bouteilles, flacons, seaux, bouchons, jouets, articles ménagers, réservoirs à carburant, tuyaux d'évacuation (Boudet, 2003).

1.3.1.2. Le polypropylène (PP) :

C'est un thermoplastique de grande rigidité même à chaud, résiste à la chaleur mieux que le polyéthylène. Le polypropylène est un polymère très polyvalent qui sert à la fois comme thermoplastique et comme fibre. Il est très facile à colorer et n'absorbe pas l'eau. On en trouve beaucoup sous forme de pièces moulées dans les équipements automobiles (pare-chocs, tableaux de bord, habillage de l'habitacle. Le polypropylène est aussi utilisé dans la fabrication de fibres synthétiques (tapis, moquettes, cordes, ficelles) (Turenc, 2012).

✚ Le polystyrène (PS) :

Le polystyrène est un thermoplastique dur et cassant. Il est employé dans la fabrication des emballages à usage unique pour viande et charcuterie, glaces, légumes, appareils électriques, gobelets à café, tasses et assiettes, cassettes vidéo et audio. Il existe sous forme de polystyrène choc dans lequel une petite quantité de caoutchouc a été ajoutée afin de le rendre résistant aux chocs. Il existe aussi sous forme de polystyrène expansé (PSE) ou (EPS) (Turenc, 2012).

✚ Le polyéthylène téréphtalate (PET) :

C'est un polymère obtenu généralement par polycondensation de l'acide téréphtalique et de l'éthylène glycol. Il est employé dans l'emballage (bouteilles, pots ; barquettes, couvercles), dans la fabrication de petites pièces pour l'équipement électrique (barrettes), l'automobile (poignées, ventilateurs) et l'électroménager (poignées, broches de connexion). Il est utilisé aussi en fibre textiles telles que le tergal. C'est pourquoi on peut recycler des bouteilles pour en faire des tissus (Boudet, 2003).

✚ Le polychlorure de vinyle (PVC) :

Il est très instable, il se brise facilement, c'est un bon isolant électrique assez peu combustible et résistant à la chaleur et non polaire. Il sert à la fabrication des bouteilles, barquettes, des boites alimentaires, films pour le médical et des tubes susceptibles de remplacer les tuyaux de fonte, panneaux et autre pièces moulées. (Allinger et *al.*, 1984).

1.3.2. Les thermodurcissables :

Ce sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement.

La réversibilité de forme est impossible car ils ne se ramollissent plus une fois moulés. A l'inverse des thermoplastiques, la mobilité thermique est réduite. Des matières plastiques qui sous l'action de la chaleur, se durcissent progressivement pour atteindre un état solide irréversible. Ces matières ne peuvent être recyclées. Exemples : Polyuréthane (PUR), Silicone, Polyesters insaturés (UP) pour les coques de bateaux. Les thermodurcissables sont des polymères tridimensionnel dont les macromolécules vont dans les trois directions de l'espace, ils sont plus rigides et résiste même au fluage ou déformation (Dessarthe et *al.*, 1996).

1.3.2.1. Les polyuréthanes (PUR) :

Ils sont caractérisés par une grande diversité de dureté et textures en fonction des associations chimiques de différents monomères. Leur usage est assez varié : mousses souples ou rigides grâce à des agents d'expansion, colles, fibres (Licra) Matelas, sièges de voiture, tableaux de bord, roues de patins à roulettes, chaussures de ski (Erni-Cassola et *al.*, 2019).

1.3.2.2. Les aminoplastes (MF) :

Deux types principaux : urée-formaldéhyde(UF) et mélamine-formaldéhyde (MF) dont le plus connu est le formica dont il est caractérisé par une dureté et rigidité exceptionnelles, peu sensibles à l'hydrolyse et à la lumière, résistance à l'abrasion, bonne tenue aux solvants, difficilement inflammables et peuvent être produits en teintes claires (Erni-Cassola, et *al.*, 2019).

Le formica a des usages variés : mobilier de cuisine, plans de travail, liants (adhésifs) dans les contreplaqués, bois agglomérés, mélaminés, etc.), moulage en stratifiés décoratifs de revêtements, pièces moulées d'ustensiles de cuisine (plateaux...), matériel électrique(interrupteurs, prises de courant...), vernis de parquets (vitrification), apprêts pour rendre les tissus indéfroissables ou plastifiés, peintures, etc.....(Erni-Cassola, et *al.*, 2019).

1.3.2.3. Les polyesters insaturés :

Leur prix est peu élevé, durcissement assez rapide sans élimination de produits secondaires. Imprégnation facile des fibres de verre. Il est possible d'en fabriquer des pièces plastiques renforcées par coulée : pales d'éoliennes, coques et cabines de bateaux, piscines, carrosseries d'automobiles, textiles (Dacron, Tergal, Térylène...) (Erni-Cassola, et *al.*, 2019).

1.3.2.4. Les silicones :

Les silicones ont une bonne résistance aux produits chimiques et à la chaleur, électriquement isolantes, transformable par moulage et par compression. Ils sont souvent colorés en brun foncé. Ils sont utilisés dans les domaines scientifiques et la réalisation d'objets: téléphones, postes de radio,

pour fabriquer les poignées de casserole, de fer à repasser et des plaques de revêtement (Erni-Cassola, et *al.*, 2019).

1.3.3. Les élastomères :

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Un élastomère en repos est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles-mêmes.

Ils sont élastiques : ils se déforment et tendent à reprendre leur forme initiale, supportent de très grandes déformations avant rupture. Ce ne sont pas réellement des «plastiques».

Issu du latex d'Hévéas (arbre d'Amazonie), le caoutchouc naturel est resté longtemps le seul élastomère connu mais les méthodes modernes de fabrication ont permis d'obtenir une grande diversité de matériaux en ajoutant des additifs, accélérateurs, agents protecteurs (anti UV, anti oxygène,...) et en les combinant à d'autres matériaux (métaux, textiles, autres plastiques...). Les élastomères sont employés dans la fabrication des coussins, de certains isolant des semelles de chaussures ou des pneus (Erni-Cassola, et *al.*, 2019).

1.4. Le plastique biodégradable :

La notion de « biodégradation », concerne spécifiquement les matières organiques, est définie, à travers une norme liée aux emballages « valorisables par compostage ou biodégradation ». La norme « NF NE 13432 :2000 » liste les exigences relatives à ces emballages et définit leur valorisation selon que l'on se trouve en milieu aérobie ou anaérobie : « sous l'action de microorganismes en présence d'oxygène, la décomposition d'un composé chimique organique en dioxyde de carbone, eau et sels minéraux, et apparition d'une nouvelle biomasse. Or, en absence d'oxygène, la décomposition en dioxyde de carbone, méthane, sels minéraux et création d'une nouvelle biomasse ». Cette définition impliquerait donc, dans le cas des plastiques, la disparition totale des structures moléculaires synthétisées sous les effets conjugués des rayons ultra-violet, de l'oxygène (pour la dégradation aérobie) et de certains microorganismes. Mais, dans l'immense majorité des cas liés aux polymères de synthèse, si la dégradation naturelle a bien lieu à l'échelle du visible, à l'échelle moléculaire, le plastique ne parvient en rien à être dégradé (Thompson *et al.*, 2009).

Il faut créer des plastiques faits pour durer, de manière à minimiser le recours à l'élimination et de favoriser à la fois la réduction de la quantité de matières plastiques produites et le recyclage de ces matières. Ainsi, de ce point de vue, il serait absurde de créer des plastiques biodégradables pour des usages de longue durée. D'un autre côté, afin de préserver l'intégrité écologique des milieux naturels et d'allonger la durée de vie des sites d'enfouissement, il semble tout de même souhaitable d'élaborer des plastiques qui soient biodégradables (Lebreton *et al.*, 2018).

Les plastiques biodégradables constituent une bonne option pour les produits à courte durée de vie insensibles à l'humidité et à l'oxygène, les emballages difficilement recyclables par les systèmes de recyclage en place, par exemple les films plastiques, et les emballages qui tendent à contaminer les systèmes de récupération (Lebreton et *al.*, 2018).

Deux types de récupération sont possibles pour les matières plastiques biodégradables, biosourcées ou non, selon qu'elles sont destinées au recyclage vers un nouvel objet ou au recyclage par biodégradation vers le compostage ou la biométhanisation (Michael et *al.*, 2019).

Les sacs oxo-dégradables, quant à eux, présentent simultanément un risque de contamination pour les activités de recyclage et de biodégradation (Michael et *al.*, 2019).

La majorité des plastiques biosourcés sont biodégradables, notamment le PLA, les PHA et le TPS. D'autres, comme le PE et le PET biosourcés, ne sont pas biodégradables, mais sont facilement recyclables par le système actuel de collecte sélective des recyclables. Le PLA, par exemple, s'inscrit dans les deux logiques : le recyclage mécanique ou chimique et la biodégradation (Michael et *al.*, 2019).

2. La pollution par le plastique :

La pollution plastique est omniprésente dans tout l'environnement marin, mais les estimations de l'abondance et du poids des plastiques flottants à l'échelle mondiale font défaut, en particulier dans l'hémisphère sud et les zones reculées (Michael et Sophia, 2019).

Bien que la pollution plastique dans les écosystèmes aquatiques ait été détectée pour la première fois il y a près d'un demi-siècle (Carpenter et *al.*, 1972), cette question a récemment suscité, au cours de la dernière décennie, un intérêt considérable de la part des décideurs politiques, des scientifiques, du grand public et des médias (Sedlak, 2017).

La pollution plastique, notamment les micros et nano plastiques, a été décrite comme une priorité importante en ce qui concerne la sécurité des produits de la mer ainsi que la santé environnementale et humaine, par un certain nombre de gouvernements, d'universités et d'organismes de recherche (Hartmann et *al.*, 2019).

Malgré des avancées scientifiques et politiques significatives dans le domaine de la réduction, de la gestion et de la recherche sur les plastiques, certains aspects de ce problème mondial restent mal compris. Le manque d'harmonisation des données et des méthodologies communément utilisées au sein de la communauté scientifique est l'une des principales limites des perspectives actuelles de la recherche sur la pollution plastique (Hartmann et *al.*, 2019).

L'identification du problème de la pollution plastiques en tant que cycle biogéochimique, en plus de l'harmonisation des données et des méthodes pour les matrices abiotiques et biotiques, sera

probablement un élément essentiel dans l'élaboration de stratégies d'évaluation et d'atténuation des risques et d'approches de recherche pertinentes pour résoudre ce problème environnemental (Horton et *al.*, 2017).

La pollution par le plastique est une conséquence de l'époque de l'Anthropocene, et le concept de cycle est largement utilisé dans les sciences de l'environnement, notamment dans les études sur l'origine, le devenir et le transport des polluants dans des contextes biogéochimiques, toxicologiques et de santé humaine (Horton et *al.*, 2017).

Par exemple, le carbone, l'azote, le mercure, le plomb, ainsi que l'eau, suivent tous des cycles environnementaux ou biogéochimiques qui sont raisonnablement bien compris en ce qui concerne les grands principes lois régissant leur devenir et leur transport dans et à travers les compartiments de l'écosystème et les réservoirs environnementaux (Horton et *al.*, 2017).

La faune migratoire, les rivières, le vent et les eaux de surface en général sont également considérés comme des vecteurs importants et influencent fortement les mécanismes de flux et la dynamique source-puits de la pollution plastique dans différents écosystèmes, y compris le transfert des environnements terrestres vers les environnements marins (Jambeck et *al.*, 2015 ; Windsor et *al.*, 2017 ; Hurley et *al.*, 2018).

2.1.La pollution de plastique dans les océans :

En raison de la sorption de substances toxiques sur le plastique, de sa flottabilité, de sa résilience lors de son déplacement dans l'environnement. La pollution par ces matières s'écoule dans tous les océans. Certains chercheurs ont suggéré que les polymères synthétiques présents dans l'océan devraient être considérés comme des déchets dangereux (Mato et *al.*, 2001 ; Teuten et *al.*, 2007 ; Rochman et *al.*, 2013).

Les plastiques se dispersent et se répandent dans l'océan sous l'effet de la photo dégradation et d'autres mécanismes d'altération, convergeant dans les gyres subtropicaux (Barnes et *al.*, 2009 ; Barnes et *al.*, 2010; Law et *al.*, 2010 ; Law et *al.*, 2014).

La pollution plastiques sont également produits et accumulés dans les baies fermées, les golfes et les mers qui sont entourés de côtes et de bassins versants fortement peuplés (Reisser et *al.*, 2013 ; Ryan, 2013).

Par ailleurs, elle a un effet sur la faune aquatique, allant du zooplancton aux cétacés, oiseaux marins et reptiles marins, par ingestion et enchevêtrement. L'adsorption des polluants organiques persistants sur le plastique et leur passage ultérieur dans les tissus et les organes par ingestion, ont un effet sur la mégafaune marine, ainsi que sur les organismes de niveau trophique inférieur et leurs

prédateurs (Gregory, 2009 ; Teuten et *al.*, 2009 ; Farrell et *al.*, 2013 ; Tanaka et *al.*, 2013; Wright et *al.*, 2013 ; Bakir et *al.*, 2014 ; Setälä et *al.*, 2014).

La prévalence des plastiques flottants, qui vont des boulettes de résine aux vastes filets, ports et navires abandonnés qui dérivent dans les océans et transportent des populations microbiennes, des algues, des invertébrés et des poissons vers des régions non indigènes, ajoute à la nécessité de suivre et de prendre des mesures pour atténuer de la distribution et de l'abondance de la pollution plastique dans le monde (Barnes, 2002 ; Carson et *al.*, 2013 ; Goldstein et *al.*, 2014).

2.2.La pollution de plastique en Algérie :

La production de déchets solides en Algérie a augmenté de façon spectaculaire au cours des dernières années (Fig.5). Les déchets plastiques sont générés par l'urbanisation, le tourisme balnéaire et les activités récréatives (Derraik 2002 ; Graca et *al.*, 2017).

En Algérie, le sous-développement gestion des déchets solides et le manque de recyclage ont conduit à une recrudescence des déchets plastiques dans les zones urbaines et sur les côtes. Les déchets plastiques sont principalement constitués de sacs à provisions, d'emballages de produits alimentaires et de boissons, et de débris résultant de la fragmentation des produits en plastique (Nel et *al.*, 2016).

La population algérienne vivant dans les zones urbaines a créé un énorme problème avec les déchets ménagers. Selon les agences gouvernementales locales algériennes et les secteurs connexes ont eu des difficultés à gérer la production élevée et progressive de déchets urbains (Brahim, 2012 ; Cheniti et *al.*, 2013).

Le problème de gestion des déchets solides du pays est causé par des raisons organisationnelles et structurelles, ainsi que par le comportement des usagers. Le tri sélectif et la réutilisation des déchets étaient un projet en Algérie, selon l'Agence nationale des déchets (AND), qui visait à réduire la pression sur les centres d'enfouissement technique surchargés ; néanmoins, ce projet n'a pas abouti (Cheniti, 2014 ; AND, 2015).

En conséquence, 16 millions de tonnes de déchets sont générés chaque année, et seulement 5% des déchets plastiques sont recyclés. ECO JEM (système public de traitement et de valorisation des déchets d'emballages) a été signé par le gouvernement algérien pour promouvoir le recyclage des déchets, mais la situation n'a pas changé (Wamda, 2017; Djemaci, 2018).

Les déchets plastiques représentent 17 % de l'ensemble des déchets ménagers en Algérie. L'AND a prévu des campagnes de sensibilisation du public pour réduire la pollution plastique marine en triant les déchets sur les plages, mais malheureusement, l'idée n'a jamais été complètement mise en œuvre (AND, 2018).



Figure.5 Les déchets de plastique sur une plage de Béjaia (Brahim 2012).

2.3. Valorisation des déchets de plastiques :

La gestion des déchets est un problème mondial, avec des tonnes de déchets solides collectés par an, une valeur qui devrait augmenter dans les années à venir (Al-Salem et *al.*, 2018 ; Kaza et *al.*, 2018).

En raison de leurs conséquences sociales et environnementales, les coûts de gestion sont susceptibles d'augmenter. L'amélioration de la gestion des déchets solides, en particulier des déchets solides municipaux (DSM), est une priorité absolue. À ce jour, les processus de recyclage font partie des pratiques de gestion des déchets les plus durables (Lima et *al.*, 2019 ; Santagata et *al.*, 2020).

Le plastique, par exemple, est une fraction unique des déchets urbains qui peut être valorisée en deux étapes. La première option est le recours à une séparation préliminaire à la source qui a lieu dans les habitations individuelles desservies par une collecte séparée. La seconde consiste à trier les déchets à la source dans des installations de récupération des matériaux (MRF) en utilisant un tri par traitement mécanique pour augmenter son efficacité (Cimpan et *al.*, 2015).

Différentes formes de déchets (comme certains plastiques commerciaux) sont rassemblées dans le système de recyclage séparé pour des raisons de commodité et de facilité. Pour transformer ces flux de déchets mixtes en matières premières secondaires, les MRF doivent les trier et les isoler. Ils se distinguent désormais par un mécanisme de tri automatisé d'une grande complexité technique, qui a permis d'améliorer les performances de tri après plus de deux décennies de croissance technologique (Gaustad et *al.*, 2012 ; Serranti et *al.*, 2019).

Les techniques de tri automatisé des déchets peuvent être classées en deux catégories : directes et indirectes. Les propriétés intrinsèques du matériau, telles que la forme et/ou la taille, le

poids spécifique, la conductivité électrique ou la susceptibilité magnétique, font partie du premier groupe (Gundupalli *et al.*, 2018 ; Silveira *et al.*, 2018).

Cependant, les capteurs détectent la présence de plastiques recyclables et leur placement dans les flux de déchets mixtes dans le cadre du tri indirect. Les séparateurs à ultrasons, à infrarouge, à rayons X et optiques sont des exemples de ces capteurs (Ragaert *et al.*, 2017).

2.4. La valorisation des déchets de plastiques en Algérie :

De nombreuses entreprises fonctionnent sans s'enregistrer auprès du gouvernement, tandis que d'autres opèrent dans des locaux temporaires. Les dépenses liées au recyclage devraient être faibles en général. Seulement 88 micro-entreprises spécialisées dans la récupération des déchets ont été recensées par l'AND (Agence nationale des déchets) en 2015, et à peine 60 d'entre elles sont en activité (Djeffal et Youghourta, 2017).

La logique de ces entreprises est qu'elles cherchent à maximiser le profit en minimisant les coûts, et comme le volume des déchets recyclables reste suffisamment important pour atteindre cet objectif, les investisseurs ne sont pas intéressés par cette activité sachant que ce secteur nécessite une technologie très développée répondant à certaines normes environnementales. La majorité des entreprises ont une capacité de traitement de deux tonnes par jour, ce qui est faible (Djeffal et Youghourta, 2017).

Le coût de l'équipement technologique nécessaire pour travailler dans l'industrie du recyclage en Algérie est une préoccupation, non seulement en termes d'acquisition de machines, mais aussi en termes de coût. Un ordinateur peut coûter jusqu'à 6 millions de dinars. Le coût d'une chaîne complète (broyeur, déchiqueteur, sécheur, etc.) peut atteindre dix millions de dinars (Djeffal et Youghourta, 2017).

3. La bioremédiation :

3.1. Définition

La bioremédiation, est l'une des méthodes les plus récentes pour éliminer les déchets plastiques. Elle consiste à éliminer les substances polluantes d'une zone à l'aide de micro-organismes. C'est l'une des méthodes les plus récentes pour éliminer les déchets de plastiques (Jonathan *et al.*, 2011).

Si le recyclage et l'utilisation de bioplastiques permettent d'éviter la mise en décharge des déchets, la bioremédiation peut contribuer à assainir des zones déjà contaminées (Jonathan *et al.*, 2011).

La dégradation microbienne peut être testée de diverses manières, chacune donnant des résultats différents et présentant ses propres avantages et inconvénients, tels que la reproductibilité de l'expérience ou la fiabilité des résultats (Jonathan et *al.*, 2011).

3.2.Mycoremédiation :

La Mycoremédiation, également appelée "assainissement par champignons", est une forme de bioremédiation qui décompose les déchets à l'aide de champignons plutôt que de bactéries (Christopher, 2014).

Les champignons sont capables de digérer un large éventail de substances, y compris des substances complexes, grâce à leur capacité à produire un certain nombre d'enzymes, ce qui encourage l'utilisation des champignons comme biorémédiateurs pour de nombreux environnements (Christopher, 2014).

En général, la Mycoremédiation peut offrir un moyen plus durable et plus fiable de décomposer les déchets que les processus traditionnels de bioremédiation, mais elle est souvent mal comprise et donc sous-utilisée (Watanabe, 2001).

CHAPITRE III :
La pollution des plages

1. Le milieu marin :

1.1. Définition :

L'écosystème marin et côtier est une hautement productive composée de différents types de sous-systèmes, dont les récifs coralliens et les herbiers marins. C'est un écosystème complexe avec une riche biodiversité allant de divers organismes primitifs (limule) à des organismes évolués (Dauphins) (Thushari et Senevirathna, 2020).

Plus de 71 % de la surface de la Terre est recouverte de mers et d'océans. Ils sont essentiels à la vie sur Terre car ils constituent des réservoirs de matière et d'énergie. Ces milieux constituent un haut lieu de la biodiversité, avec 80 % de la biomasse mondiale et 90 % de la biodiversité (Viel, 2013).

Le système océanique mondial, est divisé en cinq grands océans et de nombreuses mers, dont les cinq bassins océaniques (l'Atlantique, le Pacifique, l'Inde, l'Arctique et l'Antarctique) sont les systèmes marins les plus connus à avoir été envahis par l'homme. L'Organisation hydrographique internationale a désigné le bassin océanique du pôle Sud (Antarctique) comme le cinquième bassin océanique (Thushari et Senevirathna, 2020).

Tous les bassins océaniques agissent comme des systèmes écologiquement et économiquement importants pour le mieux-être des humains. Les processus lotiques d'eau douce se connectent aux océans et aux mers, créant des écosystèmes uniques et transitoires comme les lagunes et les estuaires (Reddy et al., 2018).

Le plateau continental étant le lieu où l'eau de mer et l'eau douce se combinent dans le milieu marin, cette zone crée donc un écosystème côtier unique. Les écosystèmes marins et côtiers offrent une variété de ressources et valeurs inestimables pour le bien-être de l'homme et d'autres types d'organismes vertébrés et invertébrés (Thushari et Senevirathna, 2020).

Les services d'approvisionnement (domaine de la nourriture, du bois, de l'eau, des fibres, des composants pharmaceutiques, du pétrole, des sources minérales), de régulation (piégeage du carbone, maintien de la qualité de l'eau), de soutien (photosynthèse, cycle des nutriments, production d'oxygène) et culturels (importance spirituelle et culturelle, loisirs et tourisme) rendus par les océans et les écosystèmes côtiers sont impératifs sur le plan écologique et socio-économique (Thushari et Senevirathna, 2020).

Les écosystèmes aquatiques sont interconnectés avec l'environnement terrestre, les changements dans un système ont un effet sur l'autre. Les environnements côtiers et marins sont menacés depuis des décennies en raison de diverses causes, dont les activités anthropiques (Adams, 2005 ; Richmond, 2015).

1.2. Le fonctionnement de l'écosystème marin côtier :

Elle est influencée et interagit avec deux environnements différents : l'environnement marin de la mer et l'écosystème terrestre du continent. La circulation des eaux atlantiques (courant algérien) le long des plages algériennes laisse une empreinte indélébile dans les eaux du littoral (Grimes *et al.*, 2004).

Elle provoque une dynamique côtière assez typique, assurant la régénération des eaux de la baie et contribuant à la détermination sans équivoque des niveaux de fertilité trophique.

En ce qui concerne l'environnement continental, son impact est déterminé par la quantité et la qualité de ces rapports. Celles-ci sont en relation avec les conditions naturelles et anthropiques des bassins qui font partie du littoral algérienne (Grimes *et al.*, 2004).

1.3. La pollution de l'écosystème :

La pollution est l'une des principales dégradations que subit l'environnement marin. Elle constitue une réelle menace pour la biodiversité. La Commission internationale d'océanographie de l'UNESCO définit la pollution comme suit « l'introduction de substances ou d'énergie dans le milieu marin par l'homme, directement ou indirectement, qui peut avoir des conséquences négatives telles que des dommages aux ressources biologiques, des risques pour la santé humaine, une entrave aux activités maritimes, une détérioration de la qualité de l'eau de mer et une réduction des possibilités dans le domaine des loisirs » (Yves, 1974 ; Mersel et Ouarmim, 2013).

Elle est causée par des produits qui sont rejetés directement dans le milieu marin, ainsi que par des produits qui sont rejetés sur terre qui se retrouvent pour 80% en mer (Chibuisi et Caterina, 2019).

Malgré leur importance, ces écosystèmes sont de plus en plus vulnérables aux agressions humaines (pêche industrielle, réchauffement climatique, pollution...etc.). En effet, les impacts environnementaux se sont multipliés du fait des nouveaux modes d'exploitation et de production inadaptés (Chibuisi et Caterina, 2019).

2. Les champignons marins :

2.1. La mycologie marine :

Depuis sa création, le domaine de la mycologie marine a énormément progressé. Les premiers champignons marins ont été décrits dans les années 1850 (Sutherland, 1915 ; Sutherland, 1916).

Les fondements de la mycologie marine reposent sur trois découvertes majeures : la description de la première espèce de champignons isolée du milieu marin: *Phaeosphiratypharum* ; la découverte du premier champignon strictement marin: *Halottia posidoniae* a l'origine

Sphaeriaposidoniae, et l'isolement de levure a partir de la mer (Desmazières, 1849 ; Kohlmeyer et Kohlmeyer, 1979)

La sous-discipline de la mycologie marine a été conçue sur la base de l'étude exhaustive sur les champignons marins vivant dans les bois. À mesure que le domaine progressait jusqu'à la fin des années 1970, les études morphologiques des champignons marins, en particulier ceux appartenant aux *Halosphaeriaceae*, ont été employées pour identifier les espèces à l'aide de la microscopie optique et électronique (Barghoorn et Linder, 1944 ; Jones et Moss, 1978 ; Jones, 1995).

Tous ces champignons marins ont été recueillis sur des substrats dans les zones intertidales et catégorisés en fonction des caractéristiques des structures sporulantes (sexuelle ou asexuée) (Pang et al., 2016).

Depuis les années 1990, les analyses phylogénétiques de l'ADNr ont dominé la recherche sur les champignons marins (Spatafora et al., 1998 ; Jones et al., 2009 ; Suetrong et al., 2009 ; Sakayaroj et al., 2011 ; Hyde et al., 2013).

2.2. Définition :

Tout champignon est récupéré de manière répétée dans des habitats marins car :

- ✓ Elle peut se développer et/ou sporuler (sur des substrats) dans le milieu marin
- ✓ Il s'adapte et évolue génétiquement
- ✓ Il crée des relations symbiotiques avec d'autres organismes marins (Pang et al., 2016).

La diversité des champignons marins ait été projetée à plus de 10 000 espèces (Fig.1), seulement environ 1250 espèces ont été documentées à ce jour (Jones, 2011 ; Jones et Pang, 2012 ; Jones et al. 2015 ; Raghukumar, 2017).

Les champignons marins (Fig.6) sont divisés en deux groupes obligatoires et facultatifs. Les champignons marins facultatifs ont été définis comme " ceux provenant de milieux d'eau douce ou terrestres capables de se développer (et éventuellement de sporuler) dans l'environnement marin ", et les champignons marins obligatoires comme " ceux qui se développent et sporulent exclusivement dans un habitat marin ou estuarien "(Kohlmeyer et Kohlmeyer, 1979)

Par ailleurs, les champignons marins sont classés en trois groupes selon le critère d'un " rôle actif/passif " dans la mer :

- 1 **Les champignons marins actifs endémiques stricts** : Ils sont ceux qui produisent des fructifications sur des substrats marins (Mahé et al., 2014).
- 2 **Les champignons passifs ubiquistes et Les champignons marins métaboliquement actifs ubiquistes** : Ils sont pour la plupart des champignons asexués. Ils peuvent être

différenciés en fonction de leur rôle actif dans l'environnement marin à l'aide des méthodes suivantes : coloration fluorescente des structures fongiques spécifique au taxon, production de métabolites secondaires, taxons présents à la fois dans les techniques cultivables et non cultivables, ré isolément à partir des sites indépendantes provenant de différents lieux géographiques, prédiction à l'aide d'une approche méta génomique fongique par l'identification de la fonction métabolique des gènes, et rôle fonctionnel dans l'environnement marin (Mahé et *al.*, 2014).

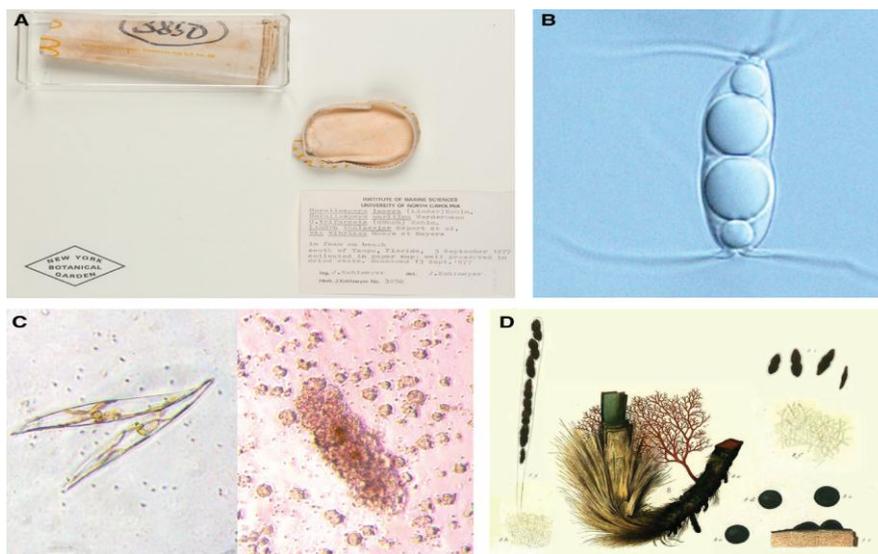


Figure 6. Image de la diversité des champignons marins. A, collection des champignons marins isolés (USA). B, *Arenariomyces trifucatus* ; C, des algues infectées par des champignons ; D, *Halottia posidoniae* (Amy et *al.*, 2019).

2.3. Mycoflore marine :

Il existe des champignons qui peuvent résister à la salinité de l'eau de mer (3,5 %) et même vivre exclusivement dans l'océan. Dans la mesure où certains groupes de Mastigomycètes, comme les *Labirynthulales* et les *Thraustochytriales*, dépendent totalement du milieu marin (peut-être des organismes primitivement marins) ou les *Halosphaeriaceae*, une famille d'*Ascomycètes* dont on se demande s'ils descendent d'ancêtres terrestres ou d'origine marins (Kirk, 1986 ; Durrieu, 1993).

Leur nourriture provient d'un large éventail d'endroits. Les débris végétaux, les restes d'Angiospermes maritimes, ainsi que le bois provenant des continents, sont autant de sources de nourriture pour les saprophytes (Durrieu, 1993).

2.4. Le rôle des champignons marins :

Les trois principaux types terrestres, à savoir les parasites, les symbiotes et les saprophytes, sont présents dans le milieu marin d'un point de vue biologique. Les champignons peuvent être parasites des végétaux, comme les algues, ou d'animaux, notamment les poissons (le cas des *Saprolégniales*), un groupe de champignons moins développés qui ne peuvent se reproduire que dans un milieu aquatique (Kohlmeyer, 1979).

Les champignons marins peuvent également former des associations symbiotiques lichénoïdes avec les algues (Mozouras, 1986).

Ils peuvent éventuellement exister en tant que saprophytes et jouer ainsi un rôle clé dans la décomposition des végétaux marins, ainsi que de celles provenant du milieu terrestre, comme les débris de bois (Mozouras, 1986).

D'autres saprophytes, comme les champignons arénicoles qui vivent entre les grains de sable, peuvent dégrader la cellulose, les alginates, l'agar et d'autres éléments que la faune interstitielle ne peut pas digérer. Alors, les saprophytes jouent un rôle crucial dans la chaîne alimentaire (Kohlmeyer et Kohlmeyer, 1979).

De ce fait, ils jouent un rôle important dans le renouvellement des ressources matérielles et énergétiques de leur environnement. Ils sont utilisés comme source nutritionnel par d'autres espèces marines (Liberra et Lindequist, 1995).

La partie expérimentale

La partie expérimentale

1. Le Plastique :

1.1. Source du plastique :

Chonde et *al.* (2012) ont utilisé le Nylon 6 (Sigma aldrich) sous forme de poudre. Ensuite, ils les ont fondus et compressés pour obtenir enfin des feuilles ou des plaques pour les tests ultérieurs.

Par ailleurs, Nowak et *al.* (2012) ont utilisé un mélange de deux types de plastique (LDPE, type “FGNX23-D022”, MFR of 2,2g/10min) fabriqué par POLICHEM (Kędzierzyn-Koźle) et Bionolle (type #3001, MFR of 1,5g/10min) fabriqué par ShowaDenko (Europe). Ensuite, ils les ont homogénéisés dans un mixeur à 170°C pour passer à l’extrudeuse type plastic – corder afin de préparer des feuilles de plastiques. Ils ont diversifiés les proportions des mélanges et les températures. Les feuilles ont été coupées dans des diamètres (40 mm/40 mm).

1.2. Traitement abiotique du Plastique :

Chonde et *al.* (2012) n’ont pas traité le plastique avant les tests biologiques. Par contre, Nowak et *al.* (2012) ont utilisé plusieurs étapes avant les tests de biodégradation.

Alors, Nowak et *al.* (2012) ont passé les plaques du plastiques par : une hydrolyse dans un tampon de Phosphate avec le NaOH (inhibiteur de microorganismes) pendant 84 jours. Puis, ils ont fait un traitement oxydative par une dégradation thermique ou photonique pendant 16 jours.

2. Les champignons :

Chonde et *al.* (2012) ont choisis l’espèce *Trametesversicolor* NCIM 1086 pour les tests de Biodégradation. La souche testée est comme d’origine : National Collection of IndustrialMicroorganisms (NCIM) NCL, Pune, Maharashtra, India.

Par ailleurs, Nowak et *al.* (2012) ont travaillé sur plusieurs espèces dont, *Aspergillus terreus*, *Aureobasidiumpullulans*, *Paecilomycesvarioti*, *Penicillium ochrochloron*, *Scopulariopsisbrevicaulis* et *Trichodermaviride* ont été fournis par (Institute of Fermentation Technology and Microbiology in Łódź, Poland). Les deux autres espèces (*Aspergillus niger* et *Penicillium funiculosum*) ont été isolées des décharges publics du Sosnowiec (Poland), ensuite elles ont été identifiées par (Institute for Ecology of Industrial Areas in Katowice, Poland). Les souches ont étéensemencées dans le milieu Czapek-Doxa. Après l’incubation dans une température de 28°C, ils ont séparé les spores par centrifugation à 4000 tours par minute. Puis, ils les ont récupérés par une solution de SDS et les ont transférés dans une solution de glycérol (50% v/v) afin de les conserver à -20°C.

La partie expérimentale

3. Biodégradation :

3.1. Tests de biodégradation :

Nowak *et al.* (2012) ont utilisé une suspension de spores à une concentration de 10^6 ml⁻¹ de spores pour des tests de biodégradation. Tout d'abord, ils ont préparé des morceaux de chaque film de plastique (5 échantillons répétés) non exposés et pré-exposés à une oxydation abiotique ou/et à l'hydrolyse ont été stérilisés dans de l'alcool éthylique à 70 %. Ensuite, ils les ont rincés à l'eau distillée stérile et les ont placés aseptiquement dans des boîtes de Pétri contenant un milieu Czapek-Doxa modifié sans saccharose. Ils ont recouvert chaque film de 0,1 ml de suspension de spores. La biodégradation a été effectuée à 28°C et à une humidité relative > 90% pendant 84 jours. La perte d'eau pendant l'incubation a été complétée par de l'eau distillée stérile. Après cette période, les palettes ont été retirés des sols, stérilisés par immersion dans une solution à 1% de mercure pendant 5 minutes, rincées puis séchés dans un dessiccateur jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

Par ailleurs Chonde *et al.* (2012) ont stérilisées les échantillons avant d'être inoculées puis les ont plongées dans de l'hypochlorite à 1% pendant quelques heures. Ensuite, ils les ont lavés puis séchés.

Ils ont exposé les morceaux de nylon à un processus de culture immergée dont la dégradation microbienne a été réalisée dans des erlenmeyers soumis à une agitation continue. Chacun contient une palette de nylon 6 et le bouillon glucosé-salé. Premièrement, 100 ml de milieu était versé dans un erlenmeyer de 500 ml et stérilisé ensuite à l'autoclave. Après refroidissement, il était inoculé avec 5 ml de la suspension de spores fongique et incubé à une agitation rotative à 30 °C et 90 tr/min pendant 90 jours. Le nylon 6 était la seule source d'azote dans le milieu.

3.2. Evaluation de la biodégradation :

Nowak *et al.* (2012) ont déterminé la perte de poids des échantillons par gravimétrie sur une balance analytique (Mettler Toledo, AB 240-S).

Ils ont réalisé des essais de résistance à la traction (R_m) et d'allongement au freinage (ϵ_r) conformément à la norme EN ISO 527-3 : 1995 ; EN ISO 527-1 : 1996 ; EN ISO 527-2 : 1996. Les essais ont été réalisés sur un appareil de traction (INSTRON 4466). Ils ont calculé la moyenne des résultats de l'évaluation de la résistance mécanique de 5 répétitions de l'échantillon.

Ils ont enregistré les spectres infrarouges des films sur un spectrophotomètre FTS 40A (BIORAD) sur une gamme de $3700-700$ cm⁻¹ avec une résolution de 2 cm⁻¹ et sur 32 balayages. Ils ont dissous les échantillons dans un mélange de décahydronaphtalène et de diméthylformamide à 70°C et analysés comme des microfilms sur le NaCl de la surface cellulaire après évaporation du solvant.

La partie expérimentale

Ils ont utilisé l'indice de carbonyle (IC) et l'indice de double liaison terminale, comme paramètres pour surveiller le degré de dégradation des films. L'indice carbonyle est le rapport entre l'absorbance du pic carbonyle (1712 cm^{-1}) et l'absorbance des groupes CH₂ à 1465 cm^{-1} . L'indice de double liaison terminale est le rapport entre l'absorbance du pic de double liaison terminale (908 cm^{-1}) et l'absorbance des groupes CH₂ à 1465 cm^{-1} (Gilan et *al.*, 2004).

Ils ont coupé les morceaux de films de polyéthylène témoin et traité avec une lame tranchante pour obtenir un petit cube (5 mm). Puis, Ils ont monté les échantillons sur un support en aluminium à l'aide d'un ruban adhésif double face en carbone et les ont recouverts par pulvérisation cathodique dans une machine à pulvériser Pelco SC-6 (25 mA et 0,8 hPa) pendant 30 secondes d'un mince film d'Or afin d'améliorer les propriétés de conduction électrique de la surface de l'échantillon. Après la pulvérisation, ils ont photographié les échantillons par le microscope électronique à balayage (MEB) Tesla BS 340 sous vide poussé fonctionnant à 20 kV avec un détecteur d'électrons secondaires (ESD), et une distance de travail (WD) de 10 mm. Ils ont comparé Les images collectées à celles enregistrées pour les échantillons originaux non traités.

Résultats et discussion

Résultats et discussion

Selon Chonde et *al.* (2012), La dégradation des feuilles de Nylon 6 en culture immergée à l'aide de *Trametes versicolor* NCIM 1086 a été réalisée pendant 15, 30, 45, 60, 75 et 90 jours. Parallèlement aux échantillons inoculés avec le champignon (échantillon biotique), une expérience à blanc a été réalisée avec des feuilles de Nylon 6 placées dans des milieux également composés sans le champignon (un échantillon biotique). Les résultats présentés dans les sections suivantes ont été obtenus à partir de deux ensembles indépendants d'expériences de dégradation.

La dégradation des feuilles de nylon 6 (Tableau1) a été observée en mesurant l'épaisseur des feuilles et la réduction du poids des feuilles lorsqu'elles sont traitées avec des champignons sélectionnés. La couleur des feuilles devient brunâtre et la morphologie de la surface devient rugueuse lorsque les feuilles sont exposées aux champignons.

Tableau 1. Diminution du poids du Nylon 6 par traitement avec les champignons *Trametes versicolor* NCIM 1086 (Chonde et *al.*, 2012).

Sr. No.	Temps Durée	Contrôle (A biotique) (Poids en mg)	Échantillon (Biotique) (Poids en mg)
1	0 Jours	0.013	0.013
2	15 Jours	0.013	0.011
3	30 Jours	0.012	0.009
4	45 Jours	0.010	0.008
5	60 Jours	0.009	0.008
6	75 Jours	0.008	0.006
7	90 Jours	0.008	0.006

Par ailleurs, les feuilles de polymère partiellement dégradées ont été retirées du milieu, lavées avec de l'eau distillée et séchées. Le degré de dégradation a été déterminé en étudiant la perte de poids des feuilles. D'après le tableau n° 1 qui montre que le poids initial de la feuille d'échantillon a été très moins réduit en 15 jours. Le poids des échantillons de feuilles de nylon a été réduit de 0,013 g à 0,006 g, tandis que dans le cas des feuilles de contrôle, le poids a été réduit de 0,013 g à 0,008 g en 90 jours. Il a été observé qu'après la durée de 75 jours, le poids des feuilles de nylon de contrôle et de l'échantillon reste constant pendant 90 jours.

Ainsi, L'épaisseur initiale de l'échantillon de feuille de nylon était de 0,117 mm (Tableau 2). Les feuilles traitées avec des champignons *Trametes versicolor* NCIM 1086 présentent une

Résultats et discussion

diminution d'épaisseur maximale en 30 jours, tandis que les feuilles témoins présentent une diminution d'épaisseur de 0,1 mm après 30 jours. Après achèvement d'une durée de 75 jours, l'épaisseur est restée constante et finalement l'épaisseur a été réduite de 0,118 mm à 0,035 mm dans l'échantillon.

Tableau 2. Diminution de l'épaisseur du Nylon 6 par traitement avec les champignons *Trametes versicolor* NCIM (Chonde et al., 2012).

Sr. No.	Temps Durée	Contrôle (A biotique) (Epaisseur en mm)	Echantillon (biotique) (Epaisseur en mm)
1	0 Jours	0.117	0.117
2	15 Jours	0.116	0.111
3	30 Jours	0.114	0.094
4	45 Jours	0.114	0.089
5	60 Jours	0.107	0.075
6	75 Jours	0.105	0.035
7	90 Jours	0.105	0.035

Cependant, l'étude FTIR du Nylon 6 (Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier) des champignons sélectionnés *Trametes versicolor* NCIM 1086 ont été déterminés en utilisant la spectroscopie FT-IR (à température ambiante). La force des bandes caractéristiques de C (O) Le NH présent vers 3300, 1640, 1550 et 1018 cm^{-1} a diminué après 90 jours. La formation de nouveaux groupes tels que CH₃, CONH₂, CHO et COOH peut être due à l'hydrolyse et à l'oxydation.

D'après Nowak et al. (2012), le terme de dégradation en ce qui concerne la décomposition des matériaux polymères n'a pas été explicitement spécifiée. Le problème principal est de déterminer la susceptibilité du matériau polymère à la dégradation dans l'environnement et la durée pendant laquelle le processus se déroulera. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour estimer la détérioration des polymères. Les méthodes fréquemment utilisées reposent sur des techniques gravimétriques, spectroscopiques et microscopiques, le plus souvent en combinaison les unes avec les autres (Sudhakar et al., 2008).

Une façon simple et rapide de mesurer la dégradation des polymères est de déterminer les variations de poids. Cependant, cette mesure en elle-même ne peut pas être une indication fiable de

Résultats et discussion

la dégradabilité du matériau, car il peut y avoir à la fois une augmentation du poids et une perte de poids de l'échantillon de polymère, qui ne sont pas directement liées à la rupture de la chaîne de polymère. Un bon exemple est une augmentation de poids due à l'accumulation de micro-organismes, tandis que la perte de poids peut être due à la disparition d'impuretés volatiles et solubles (Lucas et *al.*, 2008).

La détérioration des polymères peut également être évaluée par le changement de leurs propriétés rhéologiques.

Contrairement à la mesure du poids, ces propriétés dépendent directement de la masse moléculaire des polymères, de leur cristallinité et de la qualité de l'eau et de la présence de ramifications et d'effets de réticulation (Briassoulis et *al.*, 2004).

Parmi celles-ci, la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) est la plus utilisée pour déterminer les modifications structurelles des macromolécules. Comme on sait que la dégradation des polymères peut se faire à la fois par hydrolyse et par oxydation, cet outil permet d'estimer l'étendue de la modification de la chaîne principale du polymère due à l'action de facteurs abiotiques ou biotiques. On suppose que le mécanisme de dégradation des polymères peut être déterminé en mesurant les niveaux des pics d'absorption des cétones carbonyles, des esters carbonyles et des doubles liaisons internes (Gilan et *al.*, 2004 ; Jakubowicz et *al.*, 2006 ; Sudhakar et *al.*, 2008).

La microscopie électronique à balayage (MEB) est une approche d'imagerie utile pour la visualisation de différents polymères, car elle fournit une image cohérente de la morphologie du polymère en tant que structure non uniforme caractérisée par une épaisseur variable et une densité de polymère variable.

Cette technique permet d'illustrer la topographie de surface des polymères avec une haute résolution.

En raison de sa haute résolution latérale, de sa grande profondeur de champ et de ses possibilités de microanalyse par rayons X (SEM/EDX), le MEB est souvent utilisé en science des matériaux, y compris dans les sciences des polymères, pour élucider la structure microscopique des polymères. En MEB, la surface des échantillons non conducteurs doit être recouverte d'une fine couche d'or ou de platine. Parfois, un prétraitement de surface (pulvérisation ionique ou gravure chimique) est effectué pour révéler les détails structurels. De plus, la fracture fragile des échantillons (dans l'azote liquide en cryo-SEM) peut donner des informations sur la morphologie interne des spécimens en vrac. Les micrographies MEB indiquent que les polymères sont caractérisés par différentes caractéristiques de surface et une densité locale hétérogène de

Résultats et discussion

composants chimiques. Ils présentent également des défauts de surface tels que des fissures, des résidus de gravure, un gonflement différentiel, des dépressions et des perforations.

Actuellement, un certain nombre de techniques de MEB et de méthodes de préparation des échantillons ont été utilisées pour étudier la structure des polymères, notamment le MEB à émission de champ à ultra-haute résolution (UHR FE-SEM), le MEB à transmission par balayage (STEM), le MEB à faible vide (LVSEM/cryo SEM) et le MEB environnemental (ESEM). En mode LVSEM, les échantillons de polymères délicats sont observés à l'état congelé, tandis qu'en mode ESEM, les échantillons peuvent contenir des liquides. Le MEB équipé d'un profilage par spectrométrie de rayons X à dispersion d'énergie (SEM/EDX) est largement utilisé pour caractériser la variation de la composition chimique de l'interface des polymères. Le STEM est utilisé pour analyser les arrangements lamellaires dans les polymères, leurs dimensions et leur cristallographie. En particulier, le développement récent de la microscopie électronique à balayage à émission de champ à ultra-haute résolution a ouvert de nouvelles possibilités dans l'étude des polymères à l'échelle moléculaire. Ces techniques de MEB fournissent des données complémentaires à la microscopie électronique à transmission (MET) et à la microscopie à sonde à balayage (MBS).

Dans l'étude des polymères, les applications suivantes du MEB ont été réalisées : étude de la surface microstructure des films, fibres et poudres de polymères (amorphes et cristallins) ; l'étude des cristaux liquides ; le contrôle du processus de polymérisation ; l'étude de la structure des copolymères, des mélanges de polymères et de l'environnement (Bonhomme et *al.*, 2003 ; Borghei et *al.*, 2010 ; González et *al.*, 2006 ; Guise et *al.*, 2011 ; Šašek et *al.*, 2006 ; Vezie et *al.*, 1995).

Le pourcentage de perte de poids des compositions de LDPE et de LDPE/Bionolle® par différents champignons filamenteux est indiqué dans le tableau 3.

Il a été constaté que le PEBD pur et les mélanges 85/15 et 70/30 présentaient peu de perte de masse, ce qui reflète probablement l'inertie du LDPE vis-à-vis de la dégradation biologique. Malheureusement, même 30% de Bionolle® n'ont pas suffi pour observer une perte de poids suffisante du film. Probablement, la matrice de polyéthylène empêchait les microbes d'accéder au polyester dans la profondeur du film. Des relations similaires ont été observées pour les polyoléfines modifiées avec 6-15% de teneur en amidon, où seule la surface du matériau était sensible à la biodégradation (Nakamura et *al.*, 2005). Dans une étude distincte, Rosa et *al.* (2007) ont constaté que le LDPE pur et les mélanges 25PHB/75LDPE et 50PHB/50LDPE ont montré peu ou pas de perte de masse au cours du temps dans un sol simulé. Lee et *al.* (2003) découvert que le polystyrène (PS) dans le mélange P (3HB-co-3HV)/PS (95/5 % en poids) agit comme un retardateur de l'attaque enzymatique de la surface du film de mélange. Ce phénomène est probablement dû aux

Résultats et discussion

chaînes hydrophobes de haut poids moléculaire du polymère synthétique empêchant les enzymes d'accéder aux polymères biodégradables contenus dans le matériau (Nowak et *al.*, 2011).

Tableau 3. Perte de poids des films après biodégradation (Nowak et *al.*, 2012).

Champignons filamenteux	Compositions de films LDPE/Bionolle			
	100/0	85/15	70/30	40/60
	Perte de poids, en %			
<i>Aspergillus niger</i>	0.12	0.16	1.29	24.0
<i>Aspergillus terreus</i>	0.08	0.08	0.17	0.35
<i>Aureobasidium pullulans</i>	0.04	0.05	0.28	0.25
<i>Paecilomyces varioti</i>	0.07	0.06	0.22	0.29
<i>Penicillium funiculosum</i>	0.15	0.22	1.24	60.0
<i>Penicillium ochrochloron</i>	0.06	0.04	0.29	0.27
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	0.06	0.10	0.47	1.17
<i>Trichoderma viride</i>	0.02	0.04	0.18	0,34
<i>Mixed fungal population</i>	0.11	0.15	1.22	58,0

CONCLUSION

Conclusion

D'après les deux articles, les plastiques se décomposent sous l'influence de différents facteurs abiotiques et biotiques. Les facteurs abiotiques tels que les radiations, la température, l'humidité, la pollution chimique et le vent peuvent agir de manière synergique ou antagoniste en provoquant divers types de changements structurels et chimiques dans le polymère. Les micro-organismes, notamment les bactéries ou les champignons, jouent un rôle crucial dans la dégradation biologique des polymères.

Les champignons filamenteux utilisés capables d'oxyder et de dégrader efficacement le PEBD à haut poids moléculaire. Cependant, lorsque des chaînes de polyéthylène de faible poids moléculaire, préalablement dégradées, servaient de source de carbone et d'énergie, les micro-organismes n'assimilaient que les oligomères courtes issues de la dégradation abiotique préalable. Ils n'ont pas montré une forte activité oxydante. Donc, les mélanges LDPE/Bionolle® peuvent être utilisés dans la production d'emballages dégradables pour l'environnement. Les compositions contenant 60 % de Bionolle®, qui se décomposent de plusieurs dizaines de pour cent en 84 jours, sont particulièrement remarquables.

D'un autre part, le champignon *Trametes versicolor* NCIM 1086 a médié la biodégradation du nylon 6. Les spectres FTIR pour le polymère nylon 6 indiquent la formation de nouveaux groupes tels que CH₃, CHO et COOH, ces groupes peuvent être formés en raison des processus d'hydrolyse et d'oxydation.

En conséquence, la dégradation du polymère a été également confirmée par la perte de poids des feuilles de nylon et la diminution de l'épaisseur de la feuille de nylon. Donc, les données indiquent le potentiel de dégradation du polymère récalcitrant tel que le nylon 6 par *Trametes versicolor* NCIM 1086.

BIBLIOGRAPHIES

Bibliographies

- Abrusci, C., Pablos, J.L., Corrales, T., López-Marín, J., Marín, I., & Catalina, F. (2011). Biodegradation of photo-degraded mulching films based on polyethylenes and stearates of calcium and iron as pro-oxidant additives. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol.65, No.3, (June 2011), pp. 451-459, ISSN 0964-8305.
- Adams, S.M. (2005). Assessing cause and effect of multiple stressors on marine systems. *Mar.Pollut.Bull.*51,812.<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X04004667>.
- Ademe, Marek, C., Parisot, F., Ecogeos, Guyomard, M., Marcoux, M., Rondel, M., Leesu, Tramoy, R. (2020). Lutte contre la pollution par les déchets plastiques en milieu marin. Rapport final. 119 pages.
- Agence Nationale des Déchets. (2018). Communiqué de presse. https://and.dz/site/wp-content/uploads/communiqu%C3%A9-saison-estivale2018_f.pdf (consulted in October 24, 2020).
- Agence Nationale des Déchets. (2015). Gestion des déchets: generaliser le tri pour créer des activités de recyclage. <https://and.dz/gestion-des-dechets-generaliser-le-tri-pour-creer-des-activites-de-recyclage/> (consulted in October 24, 2020).
- Albertsson, A.C.; Andersson, S.O. & Karlsson, S. (1987). The mechanism of biodegradation of polyethylene. *Polymer Degradation and Stability*, Vol.18, No.1, pp.73-87, ISSN 0141-3910.
- Allinger et al. (1984)« Chimie organique (application) » VoI III : Réactions, édition Mc Graw-Hill, 6 ème tirage.
- Al-Salem, S.M., Al-Nasser, A., Al-Dhafeeri, A.T.(2018). Multi-variable regression analysis for the solid waste generation in the State of Kuwait. *Process. Saf. Environ.Prot.* 119, 172–180.
- Amy, S.G., Timothy, Y.J., et Anthony, S.A. (2019). Marine fungi. *Current Biology* 29 (194), 183-199. [http : journals. Iww. Com/ Marie fungi](http://journals.Iww.Com/Marie_fungi).
- Andrady A. L, Neal M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364, 1977–1984. [doi:10.1098/rstb.2008.0304](https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304).
- Bakir, A., Rowland, S., Thompson, R. (2014) Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environ Pollut* 185:16–23, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Barghoorn, E.S., Linder, D.H. (1944). Marine fungi: their taxonomy and biology. *Farlowia* 1, 395e467.
- Barnes, D. (2002) Invasions by marine life on plastic debris. *Nature* 416:808–809, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].

Bibliographies

- Barnes, D., Galgani, F., Thompson, R., Barlaz, M.** (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos Trans R Soc Lond B BiolSci* 364:1985–1998, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Barnes, D., Walters, A., Goncalves, L.** (2010). Macroplastics at sea around Antarctica. *Mar Environ Res* 70:250–252, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Bart, P.S., Nieuwenhuis, Timothy, Y., James.** (2016).The frequency of sex in fungi<https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0540>Volume 371Issue 1706.
- Bikiaris, D.N., Papageorgiou, G.Z., & Achilias, D.S.** (2006). Synthesis and comparative biodegradability studies of three poly(alkylene succinate)s. *Polymer Degradation and Stability*, Vol.91, No.1, (January 2006), pp.31-43, ISSN 0141-3910.
- Bonhomme, S., Cuer, A., Delort, A.M., Lemaire, J., Sancelme, M., & Scott, G.** (2003). Environmental biodegradation of polyethylene. *Polymer Degradation and Stability*, Vol.81, No.3, pp.441-452, ISSN 0141-3910.
- Bouchet, P., Guignard, J.L., Pouchus, Y.F., et Villard, J.** (2005). Les champignons (mycologie fondamentale et appliquée).Masson éditeur. 208 pages.
- Borghai, M., Karbassi, A., Khoramnejadian, S., Oromiehie, A., & Javid, A.H.** (2010). Microbial biodegradable potato starch based low density polyethylene. *African Journal of Biotechnology*, Vol.9, No.26, (June 2010), pp.4075-4080, ISSN 1684-5315.
- Boudet, A.** (2003). « Voyage au cœur de la matière plastique (les microstructures des polymères) », éd. CNRS, Paris.
- Brahim, D.,** (2012). La gestion des déchets municipaux en Algerie: Analyse prospective et elements d'efficacité, thèse de doctorat. Université de Rouen, France, p. 392.
- Briassoulis, D., Aristopoulou, A., Bonora, M., & Verlodt, I.** (2004). Degradation Characterisation of Agricultural Low-density Polyethylene Films. *Biosystems Engineering*, Vol.88, No.2, (June 2004), pp. 131-143, ISSN 1537-5110.
- Brock, T.D., Madingan, M.T., Martingo, J.M. Et Parker, J.** (1994). Metabolism, Biosynthesis and Nutrition. En 'Biology of Microorganisms'. 89-124. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey.
- Carlile, M.J., Watkinson, S.C.** (1994). The Fungi, 320 pages. Academic press eds.
- Carpenter, E.J., Smith, K.L.**(1972). Jr. Plastiques sur la surface de la mer des Sargasses .*Science* , 155 , 1240 - 1241 , DOI: 10.1126 / science.175.4027.1240 [[Crossref](#)], [[Google Scholar](#)].

Bibliographies

- Carson, H., Nerheim M., Carroll, K., Eriksen, M.** (2013). The plastic-associated microorganisms of the North Pacific Gyre. *Mar Pollut Bull* 75:126–132, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Cheniti, H., Serradji, T., Brahmia, K., Makhloufi, A., Guerraiche, S.** (2013). Physical knowledge of household waste in Algeria: generation and composition in the town of Annaba. *Waste Manag. Res.* 31 (11), 1180–1186. <https://doi.org/10.1177/0734242X13502383>.
- Cheniti, H.** (2014). La gestion des déchets urbains solides, cas de la ville d'Annaba. In: These doctorale. Universite Badji Mokhtar-Annaba, p. 136.
- Chibuisi, G.A., Caterina, F.**(2019). Microplastics in the marine environment: current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental toxicology and pharmacology*, 68(2), 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001>.
- Chiellini, E., Corti, A., & D'Antone, S.** (2007). Oxo-biodegradable full carbon backbone polymers - biodegradation behaviour of thermally oxidized polyethylene in an aqueous medium. *Polymer Degradation and Stability*, Vol.92, No.7, (July 2007), pp. 1378-1383, ISSN 0141-3910.
- Chiellini, E., Corti, A., Swift, G.** (2003). Biodegradation of thermally-oxidized, fragmented low-density polyethylenes. *Polymer Degradation and Stability*, Vol.81, No.2, pp.341-351, ISSN 0141-3910.
- **Christopher, J.R.** (2014). Myco remediation (Bioremediation With Fungi) Growing Mushrooms To Clean The Earth. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 24(3), 196-198, DOI: 10.3184/095422914X14047407349335.
- Cimpan, C., Maul, A., Jansen, M., Pretz, T., Wenzel, H.** (2015). Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: a review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling. *J. Environ. Manage.*156, 181–199.
- Conseil canadien sectoriel des plastiques (CCSP).** (2009). Initiation aux plastiques. Le Conseil canadien sectoriel de plastiques. http://www.careersinplastics.ca/pages/an_introduction_to_plastics/index_fr.shtml.
- David Malloch.** (2013).Champignon D.B.O. Savilen.
- Deguchi T., Massuki K., Nishida T.** (1997). Nylon biodegradation by lignin- degrading fungi, *Applied environmental microbiology*, 63, pp 329-331.
- **Derraik, J.G.B.** (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 842–852. Do microplastic loads reflect the population demographics along

Bibliographies

the southern African coastline? *Marine Pollution Bulletin* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.056>.

-**Desmazières, J.B.** (1849). *Plantes cryptogames de France*, 2nd ed., No. 1778. Lille.

-**Dessarthe, A., Carayol, M.** (1996). « Usinage des matières plastiques, des matériaux composites et des états élastomères » 140 p. éd, CETM.

-**Djeffal, H., Youghourta, Y.** (2017). Le recyclage des déchets plastiques dans le cadre du développement durable Cas des entreprises de recyclage de La Wilaya De Tizi-Ouzou. Université Mouloud Mammeri De Tzi-Ouzou Faculté Des Sciences Economiques, Commerciales Et Des Sciences De Gestion Département Des Sciences Economiques.

-**Djemaci, Brahim.** (2018). The behavior of citizens facing environmental issues: case of service of urban waste in Algeria. *Munich Personal RePEc Archive* 1–14. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/90754/MPRAPaperNo.90754,posted22Dec201803:53UTC>, 2018. (Accessed 18 October 2020).

-**Durrieu, G.** (1993). *Ecologie des champignons* (207). Masson.

-**Erni-Cassola, g., metaanalysis, A., Vinko, Z., Matthew, I., Gibson, c., Joseph, A.** (2019). Christie-Oleza Distribution of plastic polymer types in the marine environment; Contents lists available at Science Direct *Journal of Hazardous Materials journal homepage:* 369, 691–698 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.067>.

-**Farrell, P., Nelson, K.** (2013). Trophic level transfer of microplastic: (*Mytilusedulis*) to (*Carcinusmaenas*). *Environ Pollut* 177:1–3, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].

-**Feuilloy, P., César, G., Benguigui, L., Grohens, Y., Pillin, I., Bewa, H., Lefaux, S., Jamal, M.** (2005). Degradation of Polyethylene Designed for Agricultural Purposes. *Journal of Polymers and the Environment*, Vol.13, No.4, pp. 349-355, ISSN 1566-2543.

-**Gaustad, G., Olivetti, E., Kirchain, R.,** (2012). Improving aluminum recycling: a survey of sorting and impurity removal technologies. *Resour. Conserv. Recy.* 58, 79–87.

-**Gilan (Orr), I., Hadar, Y., Sivan, A.** (2004). Colonization, biofilm formation and biodegradation of polyethylene by a strain of *Rhodococcus ruber*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol.65, No.1, pp. 97-104, ISSN 0175-7598.

-**Goldstein, M., Carson, H., Eriksen, M.** (2014). Relationship of diversity and habitat area in North Pacific plastic-associated rafting communities. *Marine Biology* Doi: <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2432-8>.

-**González, G.P., Hernando, P.F., Alegría, J.S.D.** (2006). A morphological study of molecularly imprinted polymers using the scanning electron microscope. *Analytica Chimica Acta*, Vol.557, No.1-2, pp.179-183, ISSN 0003-2670.

Bibliographies

- Göpferich, A.** (1996). Mechanisms of Polymer Degradation and Erosion. *Biomaterials*, Vol.17, No.2, pp.103-114, ISSN 0142-9612.
- Graca, B., Szewe, K., Zakrzewska, D., Dolega, A., Szczerbowska-Boruchowska, M.** (2017). Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea- a preliminary study. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24 (8), 7650–7661. [https:// doi.org/10.1007/s11356-017-8419-5](https://doi.org/10.1007/s11356-017-8419-5).
- Gregory, M.** (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philos Trans R SocLond B BiolSci* 364:2013–2025, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Grimes, Boutiba,Z., Belkalem, A., Benderbaia,M., Boudillal, B., Boumaza, S., Boutiba, M., Cuedioua, A., Hafferssas, A., Hemido, F., Kaidi, N., Khelifi, H., Kerzabi, F., Merzoug, A., Noura, A., Sellai, B., Sellali-Merabtine, H., Seridi, H., Taleb, Mz., Et Touabria, T.** (2004). La biodiversité marine et le littoral Algérien.. PP. 13.23.25.27.29.
- Guise, O., Strom, C., Preschilla, N.** (2011). STEM-in-SEM method for morphology analysis of polymer systems. *Polymer*, Vol.52, No.5, (March 1 2011), pp.1278-1285, ISSN 0032-3861.
- Gundupalli, S.P., Hait, S., Thakur, A.** (2018). Classification of metallic and non-metallicfractions of e-waste using thermal imaging-based technique. *Process. Saf. Env-iron.* 118, 32–39.
- Guy, Redeuilh.** (2015). La rousse des champignons 400 espèces de France et d'Europe, 408,édition LA ROUSSE.
- Hartmann, NB ., Hüffer, T ., Thompson, RC ., Hassellöv, M ., Verschoor, A ., Daugaard, AE., Rist, S ., Karlsson, T ., Brennholt, Matthew Cole, M ., Herrling, député , Hess, MC., Ivleva, N.P., Lusher, A.L., Wagner, M.** (2019). Parlons-nous la même langue? Recommandations pour un cadre de définition et de catégorisation des débris plastiques . *Environ. Sci. Technol.*,53 (3), 1 039 - 1047 , DOI: 10.1021 / acs.est.8b05297.
- Horton, A., Dixon, S.** (2017). Microplastiques: Une introduction aux processus de transport environnemental. *Examens interdisciplinaires Wiley: Eau*, e1268.
- Hurley, R ., Woodward, J ., Rothwell, J.J.** (2018). Contamination microplastique des lits des rivières considérablement réduite par les inondations à l'échelle du bassin versant . *Nat. Geosci*, 11 , 251 - 257 , DOI: 10.1038 / s41561-018-0080-1.
- Hyde, K.D., Jones, E.B.G., Liu, J.K., Ariyawansha, H., Boehm, E., Boonmee, S., et al.,** (2013). Families of Dothideomycetes. *Fungal Divers.* 63, 1e313.
- Jakubowicz, I., Yarahmadi, N., Petersen, H.** (2006). Evaluation of the rate of abiotic

Bibliographies

degradation of biodegradable polyethylene in various environments. *Polymer*

Degradation and Stability, Vol.91, No.7, pp. 1556-1562, ISSN 0141-3910.

-Jambeck, JR., Andrady, A., Geyer, R., Narayan, R., Perryman, M., Siegler, T., Wilcox, C., Lavender Law, K. (2015). Entrées de déchets plastiques de la terre dans l'océan. *Science*, 347, 768 - 771, DOI: 10.1126 / science.126035.

- Jonathan, R.R., Jeffrey, H., Pria, A., Kaury, K., Amanda, G.S., Kathleen, W.D., DaShawn, H., Justin, J., Farrah, M.K., David, K., Daniel, H.M., Paul, A.M., Salvador, ---J.N., Marina, S., Maria, A.T., Michael, V., Neely, E.W., Mario, P.N.V., Lori-Ann, B., Carol, B.S., Scott, A.S. (2011). Biodegradation of Polyester Polyurethane by Endophytic Fungi. *American Society for Microbiology*, 77(17), 6076–6084. doi:10.1128/AEM.00521-11.

-Jones, E.B.G., Moss, S.T. (1978). Ascospore appendages of marine ascomycetes: an evaluation of appendages as taxonomic criteria. *Mar. Biol.* 49, 11e26.

-Jones, E.B.G. (1995). Ultrastructure and taxonomy of the aquatic ascomycetous order Halosphaerales. *Can. J. Bot.* 73, S790eS801.

- Jones, E.B.G., Sakayaroj, J., Suetrong, S., Somrithipol, S., Pang, K.L. (2009). Classification of marine Ascomycota, anamorphic taxa and Basidiomycota. *Fungal Divers.* 35, 1e187.

-Jones, E.G. (2011). Are there more marine fungi to be described? *Bot. Mar.* 54 (4).

-Jones, E.G., Pang, K.L. (2012). *Marine Fungi: and Fungal-like Organisms*. Walter de Gruyter, Berlin, Germany.343e354. <https://doi.org/10.1515/bot.2011.043>.

-Jones, E.G., Suetrong, S., Sakayaroj, J., Bahkali, A.H., Abdel-Wahab, M.A., Boekhout, T., Pang, K.L. (2015). Classification of marine ascomycota, basidiomycotablastocladiomycota and chytridiomycota. *Fungal Divers.* 73 (1), 1e72. <https://doi.org/10.1007/s13225-015-0339-4>.

-Julien Chongwang. (2017). Deux mois seulement pour dégrader les déchets plastiques.

- Ka-Lai, P., David, P.O., Gareth, J., Maria da Luz, C., Gaetan, B., Allison, K.W., John, A.J., Russell, G. K., Hyo-Jung, C., ...Gerald, F.B. (2016). 'Marine fungi' and 'marine-derived fungi' in natural product chemistry research: Toward a new consensual definition. *British Mycological Society*, 30(1), 163-175.

-kaneka Belgium NV(2019). LES BIOPLASTIQUES BIODÉGRADABLES ET COMPOSTABLES. Repport d'information. Siège social : Nijverheidsstraat 16 B-2260 Westerloo-OevelBTW/VAT BE 0407 633 194www.kaneka.be

-Katz, S. (1985). *Les plastiques : de la Bakélite au high-tech*. 160 pages..Paris, Éditions Denoël, *Plastics Historical Society*.

-Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A GlobalSnapshot of Solid Waste Management to 2050*. The World Bank.

Bibliographies

- Kim, H-S., Kim, H.J.** (2008). Enhanced hydrolysis resistance of biodegradable polymers and bio-composites. *Polymer Degradation and Stability*, Vol.93, No.8, (August 2008), pp. 1544-1553, ISSN 0141-3910.
- **Kirk, P.W.** (1978). Evolution with in the Halosphaeriaceae in MOSS The Biology of marine fungi, 267-273.
- Koch, P.** (2013). Plastics. In Advameg. Chemistry Explained : Foundations and Applications. <http://www.chemistryexplained.com/Pl-Pr/Plastics.html>.
- Kohlmeyer, J., Kohlmeyer, E.** (1979). Marine mycology: the higher fungi; Academic press, New York; 690 pages.
- Kumar, S., Nijasure, A.** (1997). Vulcanization of Rubber. In Indian Academy of Sciences. Resonance. <http://www.ias.ac.in/resonance/Apr1997/pdf/Apr1997p55-59.pdf> .
- Łabużek, S., Nowak, B., Pająk, J.** (2006). Biodegradation of Aged Composition of Polyethylene with Synthetic Polyester. *Polimery*, Vol.51, No.1, pp.27-32, ISSN 0032-2725.
- Łabużek, S., Pająk, J., Nowak, B.** (2006). Characteristic of Polyethylene Films Modified with Polyester Bionolle® after Biodegradation by Filamentous Fungi. *Corrosion Protection*, No.9s/A, pp. 85-88, ISSN 0473-7733.
- **Laszlo, G., Nagy, Torda, Varga, Arpad, Csernetics., Mate, Viragh.** (2020). Fungi took a unique evolutionary route to multicellularity: Seven key challenges for fungal multicellular life fungal biology reviews(34) 151 e1 69.
- Law, K., Moret-Ferguson, S., Goodwin, D., Zettler, E., DeForce, E., et al.** (2014) Distribution of surface plastic debris in the eastern Pacific Ocean from an 11-year dataset. *Environ Sci Technol*: doi:<https://doi.org/10.1021/es4053076>.
- Michael Carlile, Sarah Watkinson. (2000)The Fungi 2nd Edition 608 Academic Press.
- **Lebreton, L., Slat1, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R.S., Hajbane, S., Cunsolo, S., Schwarz, A., Levivier, A., Noble1, K., Debeljak, P., Mara, H., SchoeneichArgent, R.R., Brambini, R. J. Reisser, J.** (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. DOI:10.1038/s41598-018-22939-w
- Law, K., Moret-Ferguson, S., Maximenko, N., Proskurowski, G., Peacock, E., et al.** (2010). Plastic accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre. *Science* 329:1185–1188.
- Lee, W-K.; Ryou, J-H. & Ha, C-S.** (2003). Retardation of enzymatic degradation of microbial polyesters using surface chemistry: effect of addition of non-degradable polymers. *Surface Science*, Vol.542, No.3, pp. 235-243, ISSN 0039-6028.

Bibliographies

- Liberra, K., Lindequist, U.** (1995). Marine Fungi - a prolific resource of biologically active natural products ?*Pharmazie*, 50 (9), 583-588.
- Lieutaud, J.** (2001). « Une mer entre trois continents, la Méditerranée », Ed. Ellipses marketing, pp 272.
- Lima, P.D.M., Olivo, F., Paulo, P.L., Schalch, V., Cimpan, C.** (2019). Life cycle assessment of prospective MSW management based on integrated management planning in Campo Grande, Brazil. *Waste Manage.* 90, 59–71.
- Looser, P.W., Bartschi, S., Fent, K.** (1998). « Bioconcentration and bioavailability of organotin compounds: influence of pH and humic substances », *Applied organometallic chemistry*, 12, 601-611.
- Lucas, N.; Bienaime, C.; Belloy, C.; Queneudec, M.; Silvestre, F. & Nava-Saucedo J-E.** (2008). Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques. *Chemosphere*, Vol.73, No.4, (September 2008), pp. 429-442, ISSN 0045-6535
- Mah_e, S., Redou, V., Le Calvez, T., Vandenkoornhuyse, P., Burgaud, G., 2014.** Fungi in deep-sea environments and metagenomics. In: Martin, F. (Ed.), *The Ecological Genomics of Fungi*. John Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, pp. 325-354.
- Mato Y, Isobe T, Takada H, Kanehiro H, Ohtake C, et al.** (2001) Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environ Sci Technol* 35:318–324, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Mersel, H., Ouarmim, Y.** (2013). ABONDANCE et répartition des débris plastiques au niveau des plages de Bejaia. Université A.MIRA – Bejaia. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département : Sciences Biologiques de l’Environnement.
- Michael, S. B., and Sophia V. H.** (2019). The Plastic Cycle: A Novel and Holistic Paradigm for the Anthropocene. *Estuaries and Coasts*, 53, 7177–7179. DOI: 10.1021/acs.est.9b02942.
- Michael, S. B., et Sophia, V.H.** (2019). The Plastic Cycle: A Novel and Holistic Paradigm for the Anthropocene. *American Chemical Society*, 53(1), 7177–7179. DOI: 10.1021/acs.est.9b02942.
- Moerman, D.** (2008). The Mushroom Issue, an Introduction. *Econ Bot* 62, 205–206 <https://doi.org/10.1007/s12231-008-9047-2>.
- Mozouras, R.** (1986). Decay of wood by micro-organisms in aquatic habitats. Record of the Annual Convention of the British Wood Preserving Association. 8: 1-18.
- Mr Mondialisation.** (2019). Une association française mise tout sur un champignon dévoreur de plastique (Interview).
- Negoro, S.** (2000), Biodégradation of nylon oligomers, *Applied microbiology*, 54, pp 461-466.

Bibliographies

- Nowak, B., Pająk, J., & Łabużek, S.** (2010). Biodegradation of Compositions of Poly(ethylene terephthalate) with Bionolle® or Starch. *Composites*, Vol.10, No.3, pp. 224-228, ISSN1641-8611.
- Nowak, B., Pająk, K., Drozd-Bratkowicz, M., Rymarz, G.** (2011). Microorganisms participating in the biodegradation of modified polyethylene films in different soils under laboratory conditions. *International Biodeterioration*.
- Ojeda, T., Freitas, A., Birck, K., Dalmolin, E., Jacques, R., Bento, F., & Camargo, F.** (2011). Degradability of linear polyolefins under natural weathering. *Polymer Degradation and Stability*, Vol.96, No.4, (April 2011), pp. 703-707, ISSN 0141-3910.
- Ophardt, C.** (2003). Rubber Polymers. In Virtual Chembook. Polymers. <http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/403rubber.html>.
- **Oshero et May.** (2001). The molecular mechanisms of conidial germination 199(2):153-60 DOI:10.1016/S0378-1097(01)00178-1.
- **Pang, K.L., Overy, D.P., Jones, E.G., da Luz Calado, M., Burgaud, G., Walker, A.K., Johnson, J.A., Kerr, R.G., Cha, H.J., Bills, G.F.** (2016). 'Marine fungi' and 'marine derived fungi' in natural product chemistry research: toward a new consensual definition. *Fungal Biol. Rev.* 30 (4), 163e175. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.08.001>.
- (**PHS**). (2011). Bois Durci. In The Plastics Historical Society. Plastics Historical Plastics Historical Society (**PHS**) (2010). An Introduction to Plastics. In Plastics Historical Society. <http://www.plastiquarian.com/userfiles/file/plasticbook.pdf>.
- Ragaert, K., Delva, L., Van Geem, K.** (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Manage.* 69, 24–58.
- Raghukumar, S.** (2017). *Fungi in Coastal and Oceanic Marine Ecosystems*. Springer, New York, USA.
- Ram, A., Meir, T., Miltz, J.** (1980). Durability of polyethylene films. *International Journal of Polymeric Materials*, Vol.8, No.4, pp.323-336, ISSN 0091-4037.
- Reddy, M.T., Natarajan, S., Venkateswaran, K., Someswara, R.P., Neelam, S., Nilamani, D.** (2018). Classification, characterization and comparison of aquatic ecosystems in the landscape of adilabad district, Telangana, DeccanRegion, India. *OALib J.* 5, e4459. https://www.scirp.org/html/83843_83843.htm.
- Reisser, J., Shaw, J., Wilcox, C., Hardesty, B., Proietti, M.** (2013). Marine plastic pollution in the waters around Australia: Characteristics, concentrations and pathways. *PloS one* 8, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Rey, A.** (1992). Dictionnaire historique de la langue française – Tome 2, 2383 p .Paris, Dictionnaires Le Robert.

Bibliographies

- Rey, A.** (2007). Le nouveau petit Robert de la langue française 2837 p. Paris, Dictionnaires Le Robert.
- Richmond, R.**, (2015). Coral reefs: present problems and future concerns resulting from anthropogenic disturbance. *Integr. Comp. Biol.* 33 (6), 524–536. <https://academic.oup.com/icb/article/33/6/524/2107143>.
- Rochman, C., Browne, M., Halpern, B., Hentschel, B., Hoh, E., et al.** (2013). Classify plastic waste as hazardous. *Nature* 494:169–171, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Roy, P.K., Titus, S., Surekha, P., Tulsi, E., Deshmukh, C., & Rajagopal, C.** (2008). Degradation of abiotically aged LDPE films containing pro-oxidant by bacterial consortium. *Polymer Degradation and Stability*, Vol.93, No.10, pp. 1917-1922, ISSN 0141-3910
- Rubatzky, Vincent, E., Mas, Yamaguchi.** (1997). World Vegetables. Chapman &Hall 723-744pp.
- Ryan, P.** (2013). A simple technique for counting marine debris at sea reveals steep litter gradients between the Straits of Malacca and the Bay of Bengal. *Mar Pollut Bull* 69:128–126, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Sahebnazar, Z., Abbas, S.S., Mahsa, M.T., & Mohsen, N.** (2010). Biodegradation of lowdensity polyethylene (LDPE) by isolated fungi in solid waste medium. *Waste Management*, Vol.30, No.3, (March 2010), pp. 396-401, ISSN 0956-053X.
- Santagata, C., Iaquaniello, G., Salladini, A., Agostini, E., Capocelli, M., De Falco, M.** (2020). Production of low-density poly-ethylene (LDPE) from chemical recycling of plastic waste: process analysis. *J. Clean. Prod.* 253, 119837.
- Šašek, V., Vitásek, J., Chromcová, D., Prokopová, I., Brožek, J., & Náhlík, J.** (2006). Biodegradation of Synthetic Polymers by Composting and Fungal Treatment. *Folia Microbiologica*, Vol.51, No.5, pp. 425-430, ISSN 0015-3632.
- Sedlak, D.L.** (2017). Trois leçons pour le voyage des microplastiques. *Environ. Sci. Technol.* 51 (14), 7747 - 7748 , DOI: 10.1021 / acs.est.7b03340.
- Serranti, S., Bonifazi, G.** (2019). Techniques for separation of plastic wastes. In: Pacheco-Torgal, F., Khatib, J., Colangelo, F., Tuladhar, R. (Eds.), *Use of Recycled Plastics in Eco-Efficient Concrete*. Elsevier Ltd, pp. 9–37.
- Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., Lehtiniemi, M.** (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environ Pollut* 185:77–83, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Silveira, A.V.M., Cella, M., Tanabe, E.H., Bertuol, D.A.** (2018). Application of tribo-electrostatic separation in the recycling of plastic wastes. *Process. Saf. Environ.* 114, 219–228.

Bibliographies

- Spatafora, J.W., Volkmann-Kohlmeier, B., Kohlmeier, J.** (1998). Independent terrestrial origins of the Halosphaeriales (marine Ascomycota). *Am. J. Bot.* 85, 1569e1580.
- Sudhakar, M., Doble, M., Murthy, P.S., & Venkatesan, R.** (2008). Marine microbe-mediated biodegradation of low- and high-density polyethylenes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol.61, No.3, pp. 203-213, ISSN 0964-8305.
- Suetrong, S., Schoch, C.L., Spatafora, J.W., Kohlmeier, J., Volkmann- Kohlmeier, B., Sakayaroj, J., Pang, K.L., Jones, E.B.G.** (2011). Multi-gene phylogeny of the Halosphaeriaceae: its ordinal status, relationships between genera and morphological character evolution. *Fungal Divers.* 46, 87e109.
- Sutherland, G.K.**, (1915a). New marine fungi on *Pelvetia*. *New Phytol.* 14, 33e42.
- Sutherland, G.K.**, (1916b). Marine Fungi Imperfecti. *New Phytol.* 15,35e48.
- **Sylvie RAPIOR., Françoise FONS.** (2006).La classification des champignons *Annales S.H.H.N.H.*, 146, 4,Laboratoire de Botanique, Phytochimie et Mycologie / UMR - CNRS 5175 CEFE, Faculté de Pharmacie, 15 avenue Charles Flahault, Université Montpellier I, BP 14491, 34093Montpellier cedex 5, France.
- Tanaka, K., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M., et al.** (2013) Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Mar Pollut Bull* 69:219–222, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Teuten, E., Rowland, S., Galloway, T., Thompson, R.** (2007). Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environ Sci Technol* 41:7759–7764, [[View Article](#)][[Google Scholar](#)].
- Teuten, E., Saquing, J., Knappe, D., Barlaz, M., Jonsson, S., et al.** (2009) Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 364:2027–2045, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].
- Thompson, R.C., et al.** (2009). « Plastics, the environment and human health : current consensus and future trends », *Philosophical transactions of the Royal society in biological sciences*, 364 p. 2153-2166.
- Thushari, G.G.N., Senevirathna, J.D.M.** (2020). Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*, 6, e04709. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>
- Tolinsky, M.** (2011). *Plastics and Sustainability* 269 p. Salem, Scrivener Publishing,.
- Tortora, J., Funk, B.F., and Case, Ch.I.** (2003). *Introduction à la microbiologie*, (edn) Universitaires, 52 pages.
- Tserki, V., Matzinos, P., Pavlidou, E., Vachliotis, D., & Panayiotou, C.** (2006). Biodegradable aliphatic polyesters. Part I. Properties and biodegradation of poly(butylene

Bibliographies

succinate-co-butylene adipate). *Polymer Degradation and Stability*, Vol.91, No.2, pp.367-376, ISSN 0141-3910.

-**Tsuji, H., Echizen, Y., & Nishimura, Y.** (2006). Photo degradation of biodegradable polyesters: A comprehensive study on poly(L-lactide) and poly(ϵ -caprolactone). *Polymer Degradation and Stability*, Vol.91, No.5, pp.1128-1137, ISSN 0141-3910.

-**Turenc, O.** (2012). Biopolymers. In Dunford, N. T., Food and Industrial Bioproducts and Bioprocessing (chap. 11, p. 267-293).

-**Viel G ; 2013-** Valorisation des coproduits marins : Perspectives et développement dans la valorisation des coproduits marins. Centre de recherche pour la biothechnologie marines, p3.

-**Viezie, D.L., Thomas, E.L., & Adams, W.W.** (1995). Low-voltage, high-resolution scanning electron microscopy: a new characterization technique for polymer morphology. *Polymer*, Vol.36, No.9, pp.1761-1779, ISSN 0032-3861.

-**Wamda,** (2017). How this Algerian entrepreneur is recycling plastic waste. <https://www.wamda.com/2017/08/algerian-entrepreneur-recycling-plastic-waste>.

-**Watanabe, K.** (2001). Microorganisms relevant to bioremediation , *Curr. Opinion Biotechnol.*, 12(3): 237-241.

-**Windsor, F.M., Durance, I., Horton, A.A.; Thompson, R.C., Tyler, C.R., Ormerod,** (2019).SJ Une perspective à l'échelle du bassin versant de la pollution plastique . *Glob. Changer Biol.* , 25 , 1207 - 1221 , DOI: 10.1111 / gcb.14572.

-**Wright, S., Rowe, D., Thompson, R., Galloway, T.** (2013). Microplastic ingestion decreases energy reserve in marine worms. *Curr Biol* 23:1031–1033, [[View Article](#)],[[Google Scholar](#)].

-**Yuka Kobayashi., Hirokazu Kawagishi.** (2014). Fungal Lectins: A Growing Fami DOI: [10.1007/978-1-4939-1292-6_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1292-6_2).

-**Yves L,** (1974). Les nouveaux mythes : pollution et environnement In Tiers-Monde. tome 15 n°57. Pouvoir, mythesetidéologies. Pp 253-265.

-Site scientifique de l'**ESIAB.** (2021).

ANNEXES

ANNEXES

Annexe N°01

Czapek-Doxa medium : (NaNO₃, 2g; KH₂PO₄, 0,7g; K₂HPO₄, 0,3g; KCl, 0,5g; MgSO₄·7H₂O, 0,5g; FeSO₄·7H₂O, 0,01g; sucrose, 30g; Bacto Agar (Difco), 20g; distilled water, 1000ml; pH 6.0.

The medium contained per liter of deionised water, 10 gm of glucose, 1 g KH₂PO₄, 0.5 gm of MgSO₄ 7H₂O and 0.5 gm of (NH₄)₂ SO₄ and 0.1 gm of CaCl₂.pH 6.25.

INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES Volume 2, No 3, 2012

© Copyright 2010 All rights reserved Integrated Publishing Association

Research article

ISSN 0976 – 4402

Studies on degradation of synthetic polymer Nylon 6 by fungus *Trametes versicolor* NCIM 1086

Chonde Sonal. G¹, Chonde Sachin. G², Bhosale P. R¹, Nakade D. B³, Raut P. D¹

1- Department of Environmental Science, Shivaji University Kolhapur.

2- Department of Chemistry, BAMU Aurangabad.

3- Department of Microbiology, Rajaram College, Kolhapur

drpdraut@yahoo.co.in

doi : 10.6088/ijes.00202030124

ABSTRACT

Nylon is one of the synthetic polymers which have large applications in environment. It is found to be a hard plastic for degradation. Present study has examined the feasibility of a fungus, *Trametes versicolor* NCIM 1086 for actively degrading synthetic polymer Nylon 6. The analysis was carried out using I. R. spectroscopy and mechanical techniques. Nylon sheets were inserted in fermentation broth which was incubated on a rotary shaker at 30°C and 90 rpm for 90 days. Nylon 6 was the sole source of nitrogen in the medium. A colony of fungus was developed that resulted in substantial degradation of Nylon 6. Weakening and breaking of polyamide bond have been confirmed by weakening in I. R. band. The degradation led to formation of new functional groups CH₃, CHO and COOH.

Keywords: *Trametes versicolor*, Biodegradation, Nylon 6, Plastic waste management.

1. Introduction

Plastic is the most versatile synthetic manmade substance, created out of the fossil fuel resources. Plastic offer a number of advantages over alternative materials – they are lightweight, low cost, extremely durable and relatively unbreakable. Plastics are composed of petroleum based materials called resins (e.g., polythene and polypropylene) – materials that are resistant to biodegradation. Discarded plastics, besides being highly visible are a rapidly increasing percentage of solid waste in landfills, resistant to biodegradation leading to pollution, harmful to the natural environment. In recent years there has been growing public concern over environmental deterioration associated with the disposal of conventional plastics. (Kumar S. *et. al.*, 2007).

Research on degradable synthetic polymers begins in the early 1980's. The recognized lack of biodegradability of large volume of commercial polymers, particularly commodity plastics used in packaging (e.g. fast food), industry and agriculture, focused public attention on a potentially huge environmental accumulation and pollution problem that could persist for centuries.(Yüksel *et.al.*,2004). Biodegradation is therefore considered as a subset of degradation, which is defined here as any physical or chemical change in a material caused by any environmental factor, including light, heat, moisture, wind, chemical conditions or biological activity. Polymers bearing recurring amide groups in their backbone are defined as polyamides. Polyamide types of polymer have been considered as a long standing existence. Therefore find, diversifies applications by all commodities. Nylon 6, one of the polyamide polymers finds its application in the bristles, ropes, fabrics, fishing nets, automobile parts etc.

Received on March 2012 Published on May 2012

2435



**You have downloaded a document from
RE-BUS
repository of the University of Silesia in Katowice**

Title: Biodegradation of Pre-Aged Modified Polyethylene Films

Author: Bożena Nowak, Jolanta Pająk, Jagna Karcz

Citation style: Nowak Bożena, Pająk Jolanta, Karcz Jagna. (2012).
Biodegradation of Pre-Aged Modified Polyethylene Films. W: V. Kazmiruk
(ed.), „Scanning Electron Microscopy” (s. 643-670). [Rijeka] : InTech.



Uznanie autorstwa - Licencja ta pozwala na kopiowanie, zmienianie, rozprowadzanie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie pod warunkiem oznaczenia autorstwa.